

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



Diseño de un sistema híbrido solar fotovoltaico-biogás para generación de energía eléctrica en el centro poblado La Valle–Tumán

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

Luiggy Estefano Diaz Hurtado

ASESOR

Jony Villalobos Cabrera

<https://orcid.org/0000-0003-3643-5498>

Chiclayo, 2025

**Diseño de un sistema híbrido solar fotovoltaico-biogás para
generación de energía eléctrica en el centro poblado La Valle–
Tumán**

PRESENTADA POR

Luigy Estefano Diaz Hurtado

A la Facultad de Ingeniería de la

Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Luis Alberto Gonzales Bazan

PRESIDENTE

Lucio Antonio Llontop Mendoza

SECRETARIO

Jony Villalobos Cabrera

VOCAL

DEDICATORIA

Este proyecto de tesis se lo dedico a Dios, que día a día me ilumina y me muestra el camino de la superación, dándome fuerza y bienestar.

A mi familia, que siempre está presente en todo momento, dándome el apoyo y motivación que necesito, velando por mi educación y salud.

A mi madre Josefina, por mostrarme el camino de la humildad y ayudarme a ser mejor cada día. Te amo mamá.

A mi novia Kelly y a mi hija Adele, quienes son mi luz y motor para seguir adelante, las amo demasiado.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, José y Josefina, por brindarme la educación necesaria y siempre esforzarse para permitirme culminar mi carrera universitaria.

A los Ingenieros de la facultad, por los conocimientos que me ofrecieron, los cuales fueron necesarios para poder culminar esta investigación.

A mi gran amigo Gorqui Aguirre, mi compañero dentro y fuera de la universidad, por su amistad brindada y las ayudas en los trabajos.

A Javier Carpio, quien fue la persona que me mostró que podía seguir adelante después de los momentos duros y caídas que uno puede llegar a pasar, por eso y por todo. Gracias

TESIS II

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	7%
2	repository.udistrital.edu.co Fuente de Internet	2%
3	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	1library.co Fuente de Internet	1%
5	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	www.gba.gob.ar Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.utp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	docplayer.es Fuente de Internet	<1%

ÍNDICE

RESUMEN -----	14
ABSTRACT -----	15
1. INTRODUCCIÓN -----	16
1.1. Realidad problemática	18
1.1.1. Formulación del problema.....	18
1.1.2. Delimitación de la investigación	18
1.2. Justificación del problema	18
1.3. Objetivos.....	20
1.3.1. Objetivo General.....	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
2. MARCO TEÓRICO -----	21
2.1. Antecedentes Empíricos.	21
2.1.1. Mundiales	21
2.1.2. Nacionales	21
2.1.3. Regionales	22
2.2. Bases teóricas.	23
2.2.1. Energía Eléctrica:	23
2.2.2. Energías Renovables:	23
2.2.2.1. Energía Solar:.....	23
2.2.2.2. Bioenergía:.....	23
2.2.3. Biomasa:	23
2.2.4. Tipos de biomasa:	24
2.2.4.1. Según el origen	24
2.2.4.2. Según el estado	25
2.2.5. Características de la Biomasa:	26
2.2.5.1. De acuerdo a su composición química:	26

2.2.5.2.	De acuerdo a su contenido en la Humedad:	26
2.2.5.3.	De acuerdo a su poder calorífico:	27
2.2.5.4.	De acuerdo a su densidad:.....	27
2.2.6.	Aplicaciones de la Biomasa:.....	27
2.2.6.1.	Energía térmica:	28
2.2.6.2.	Biocombustibles:.....	28
2.2.6.3.	Gases combustibles:.....	28
2.2.7.	Biogás	28
2.2.7.1.	Aplicaciones que se le dan al biogás.....	29
2.2.7.1.	Agentes que influyen en la producción de biogás	29
2.2.7.2.	Contenidos de la biomasa a emplear:.....	30
2.2.8.	Biodigestor.....	31
2.2.8.1.	Digestión anaeróbica.....	31
2.2.8.2.	Tipos de biodigestores	32
2.2.8.3.	Tiempo de retención y temperatura	35
2.2.8.4.	Carga diaria de sustrato al biodigestor (CDS)	35
2.2.8.5.	Volumen del biodigestor (VD)	35
2.2.8.6.	Densidad del sustrato (ρ)	36
2.2.8.7.	Cálculo de generación diaria de estiércol a utilizar	37
2.2.8.8.	Volumen de estiércol disponible.....	37
2.2.8.9.	Cantidad de solidos totales en el estiércol fresco en los vacunos.	37
2.2.9.	Número mágico en la producción de biogás.	38
2.2.10.	Sistema solar fotovoltaico:	38
2.2.10.1.	Paneles fotovoltaicos (Np).....	38
2.2.10.2.	Baterías (Cb)	39
2.2.10.3.	Regulador de carga	39
2.2.10.4.	Inversor	40

2.2.10.5.	Conductor eléctrico	40
2.2.10.6.	Barras colectoras	41
2.2.10.7.	Angulo de inclinación	41
3.	METODOLOGÍA	42
3.1.	Tipo y nivel de investigación.....	42
3.1.1.	Enfoque.....	42
3.1.2.	Tipo y nivel de investigación.....	42
3.2.	Diseño de la investigación.....	43
3.3.	Operación de Variables	44
3.3.1.	Variable dependiente:	44
3.3.2.	Variable Independiente:.....	44
3.4.	Técnicas e Instrumentación de recolección de datos.....	45
3.5.	Procedimiento para la recolección de datos	46
3.6.	Procesamiento y análisis de datos	46
3.7.	Matriz de consistencia:	47
4.	RESULTADOS.....	48
4.1.	Determinación de la cantidad de biogás que se puede obtener a partir de los diferentes tipos de estiércol animal que se encuentran en la zona apoyándose de la granja “Hnos. Rojas”.	
	48	
4.1.1.	Cálculo de generación de biogás a partir del estiércol vacuno.....	50
4.1.1.1.	Cálculo de la generación de estiércol vacuno diario.....	50
4.1.1.2.	Volumen de estiércol disponible.....	50
4.1.2.	Cálculo de generación de biogás a partir del estiércol de cuy.....	52
4.1.2.1.	Cálculo de la generación de estiércol rumiante diario	52
4.1.2.2.	Volumen de estiércol disponible.....	52
4.1.3.	Cálculo de generación de biogás a partir del estiércol porcino.	54
4.1.3.1.	Cálculo de la generación de estiércol porcino diario	54
4.1.3.2.	Volumen de estiércol disponible.....	55

4.1.3.3.	Volumen de estiércol de cerdos total:	55
4.1.4.	Cantidad total de biogás	56
4.2.	Cálculo de la demanda de energía eléctrica de las viviendas del CC.PP. La Valle. .	57
4.2.1.	Ubicación.....	57
4.2.2.	Características.....	57
4.2.3.	Descripción de tipo de Usuario	58
4.2.4.	Cálculo de aumento poblacional.....	58
4.2.5.	Cálculo de la tasa de aumento poblacional utilizando tendencias	59
4.2.5.1.	Comportamiento lineal:	59
4.2.5.2.	Comportamiento exponencial:	59
4.2.5.3.	Comportamiento Logarítmico:.....	60
4.2.5.4.	Comportamiento Polinómico:.....	60
4.2.5.5.	Tasa de aumento poblacional promedio obtenida:.....	62
4.3.	Cálculo y selección de los componentes del sistema híbrido solar fotovoltaico – biogás para generación eléctrica en el CC. PP. La Valle – Tumán.....	63
4.3.1.	Evaluación del recurso solar del lugar.....	63
4.3.2.	Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico	66
4.3.2.1.	Paneles fotovoltaicos:	66
4.3.2.2.	Sección del conductor	68
4.3.2.3.	Angulo de inclinación	70
4.3.2.1.	Materiales a utilizar para la construcción	71
4.3.3.	Dimensionamiento del Biodigestor	72
4.3.3.1.	Tiempo de retención	73
4.3.3.2.	Carga diaria de sustrato al biodigestor (CDS)	73
4.3.3.3.	Volumen del biodigestor (VD)	73
4.3.3.4.	Geometría del Biodigestor Anaeróbico	74
4.3.3.5.	Construcción del Biodigestor Anaeróbico	77

4.3.3.6.	Consideraciones de Seguridad.....	80
4.3.3.7.	Materiales que se utilizarán en la construcción	81
4.3.4.	Diseño del sistema hibrido solar fotovoltaico-biogás.....	83
4.3.4.1.	Cálculo de las barras colectoras	83
4.4.	Evaluación técnico económica del sistema propuesto, utilizando los indicadores económicos TIR, VAN, B/C.....	86
4.4.1.	Presupuesto del Sistema de Biodigestor Anaeróbico:	87
4.4.2.	Presupuesto del Sistema Fotovoltaico	88
4.4.3.	Presupuesto para Generadores Eléctricos e Instalación	89
4.4.1.	Presupuesto Barras Colectoras e Instalación	90
4.4.2.	Costo de Inversión Total del Sistema Hibrdo Fotovoltaico - Biogás:.....	90
4.4.3.	Costos de Mantenimiento	91
4.4.4.	Ingresos.....	91
4.4.4.1.	Ahorro de combustible.....	92
4.4.4.2.	Bonos de Carbono.....	92
4.4.4.3.	Coste por el kWh generado con el sistema hibrido.....	93
4.4.5.	Valoración económica del Proyecto	93
5.	CONCLUSIONES -----	96
6.	RECOMENDACIONES -----	97
7.	REFERENCIAS -----	98
8.	ANEXOS -----	102

Lista de tablas

Tabla 1: Absorción y productividad de distintos equipos utilizando biogás.....	29
Tabla 2: Cantidad de excretas producidas según animal y rendimiento	30
Tabla 3: Tiempo de retenimiento según la temperatura	35
Tabla 4: Sólidos totales y su relación a el estiércol fresco.....	37
Tabla 5: Relación de biogás a los sólidos totales	37
Tabla 6: Número mágico para la producción de biogás.....	38
Tabla 7: Perdidas recomendadas	40
Tabla 8: Operación de Variables	44
Tabla 9: Matriz de Consistencia.....	47
Tabla 10: Cantidad de animales presente en el CC.PP.	48
Tabla 11: Cantidad de animales presente en la granja porcina “Hnos. Rojas”	48
Tabla 12: Materia Fecal generada por los animales presentes en el CC.PP.....	48
Tabla 13: Materia Fecal generada por los animales presentes en la granja.	48
Tabla 14: Cantidad de estiércol en un año de estudio	54
Tabla 15: Consumo de Energía Eléctrica	58
Tabla 16: Población por año.....	58
Tabla 17: Crecimiento poblacional del 2016 al 2043	61
Tabla 18: Datos obtenidos del Software	64
Tabla 19: Materiales para sistema fotovoltaico.....	71
Tabla 20: Biodigestor seleccionado	72
Tabla 21: Parámetros.....	72
Tabla 22: Valores del polietileno en el mercado.....	74
Tabla 23: Sección eficaz por ancho de rollo	75
Tabla 24: Longitud de acuerdo a su sección eficaz.....	75
Tabla 25: Longitud adecuada	76
Tabla 26: Dimensiones de la zanja.....	76
Tabla 27: Listado de Materiales	81
Tabla 28: Listado de Herramientas	82
Tabla 29: Presupuesto del Biodigestor Anaeróbico	87
Tabla 30: Costos de mano de obra y operación	88
Tabla 31: Presupuesto del Sistema Fotovoltaico.....	88
Tabla 32: Costos de mano de obra y operación	89

Tabla 33: Costos de Generadores Eléctricos e Instalación	89
Tabla 34: Costos de Barras Colectoras e Instalación	90
Tabla 35: Tabla de porcentajes de Inversión Total	90
Tabla 36: Consumo anual en kWh y su conversión a kg CO ₂	92
Tabla 37: Conversión de beneficio de dólares a soles	92
Tabla 38: Beneficio anual	92
Tabla 39: Análisis económico con indicadores VAN y TIR.....	94

Listado de figuras

Imagen 1: Esquema de la Biomasa	24
Imagen 2: Esquema de los tipos de biomasa.....	24
Imagen 3: Utilizaciones que se le dan al biogás.....	29
Imagen 4: Solidos totales en la materia fresca	30
Imagen 5: Solidos volátiles en la materia fresca	31
Imagen 6: Etapas de la digestión anaeróbica	31
Imagen 7: Digestor anaeróbico tipo Indiano	33
Imagen 8: Digestor Anaeróbico tipo horizontal.....	33
Imagen 9: Digestor Anaeróbico de campana fija	34
Imagen 10: Digestor Anaeróbico tipo Taiwán	34
Imagen 11: Componentes de un sistema solar fotovoltaico.....	38
Imagen 12: Modelo para el cálculo de densidad	49
Imagen 13: Centro Poblado La Valle	57
Imagen 14: Vista Ampliada del CC.PP. La Valle	57
Imagen 15: Condiciones de referencia del sitio.	63
Imagen 16: Irradiación Solar en Lambayeque	63
Imagen 17: Grafico de barras de datos climatológicos	65
Imagen 18: Válvula de seguridad.....	79

Listado de gráficos

Gráfico 1: Comportamiento Lineal del Aumento Poblacional.....	59
Gráfico 2: Comportamiento Exponencial del Aumento Poblacional.....	59
Gráfico 3: Comportamiento Logarítmica del Aumento Poblacional	60
Gráfico 4: Comportamiento Polinómica del Aumento Poblacional.....	60
Gráfico 5: Comportamiento de las variables.....	64
Gráfico 6: Diseño del sistema híbrido solar fotovoltaico - biogás.....	84
Gráfico 7: Representación de los porcentajes de inversión.....	91

RESUMEN

Hay muchas zonas rurales en Perú que carecen de acceso a servicios eléctricos, como el centro poblado de La Valle en el distrito de Tután, provincia de Chiclayo, que cuenta con casas dispersas y que no están conectados a redes eléctricas convencionales. La ausencia de flujo energético de la zona ha obligado a los habitantes a apostar por el autoabastecimiento de electricidad con generadores eléctricos a gasolina, lo que supone una práctica muy nociva para el medio ambiente y, por tanto, para la salud de los habitantes de la zona.

El propósito de esta investigación es producir electricidad a partir de la radiación solar de la zona, la cual es aprovechada por un sistema híbrido solar eléctrico-biogás, que a su vez utiliza los residuos orgánicos del lugar y de la granja porcina "Hnos. Rojas".

El diseño requiere un biodigestor de tipo taiwanés alimentando un generador de metano de 3,5 kW. Además, existe un sistema fotovoltaico donde nos apoyamos del programa RETScreen Expert, para determinar los parámetros del lugar donde se instalará este sistema. Posteriormente se realizó un análisis financiero para determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto con una previsión de 20 años.

El propósito de este proyecto no solo es satisfacer la demanda de electricidad, sino también mejorar la calidad de vida de las personas de la comunidad utilizando los recursos que nos brindan.

Palabras clave: Energía eléctrica, RETScreen Expert, Biodigestor, Biogás.

ABSTRACT

There are many rural areas in Peru that lack access to electrical services, such as the town center of La Valle in the district of Tumán, province of Chiclayo, which has scattered houses that are not connected to conventional electrical networks. The absence of energy flow in the area has forced the inhabitants to opt for self-supply of electricity with gasoline-powered electric generators, which is a very harmful practice for the environment and, therefore, for the health of the inhabitants of the area. zone.

The purpose of this research is to produce electricity from the solar radiation of the area, which is used by a hybrid solar electric-biogas system, which in turn uses the organic waste of the place and the "Hnos. Rojas" pig farm.

The design requires a Taiwanese-type biodigester feeding a 3.5 kW methane generator. In addition, there is a photovoltaic system where we rely on the RETScreen Expert program to determine the parameters of the place where this system will be installed. Subsequently, a financial analysis was carried out to determine the viability and profitability of the project with a forecast of 20 years.

The purpose of this project is not only to meet the demand for electricity, but also to improve the quality of life of the people in the community using the resources provided to us.

Keywords: Electric energy, RETScreen Expert, Biodigester, Biogas.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de la energía se ha asociado con la actividad humana desde la antigüedad. La mera existencia del hombre le obliga a ingerir alimentos, que no son más que biocombustibles en las cantidades adecuadas para mantener el metabolismo básico y realizar los procesos vitales, así como realizar el trabajo necesario para sobrevivir. Los problemas del crecimiento de la población mundial, el aumento de las emisiones de CO₂, las cuestiones políticas y sociales relacionadas con la localización de las fuentes de energía tradicionales, han llevado a una preocupación cada vez más extendida en la búsqueda de nuevas energías. [1]

La demanda de alternativas de producción de energía, a través de utilizaciones que sean amigables con la naturaleza y el uso de los recursos disponibles, crea un ambiente propicio para la llamativa utilización de la tecnología de biodigestores anaeróbicos, aprovechando la producción de biogás.

Por lo tanto, el uso eficiente de este tipo de combustible es crucial para reemplazar las escasas y costosas fuentes tradicionales de energía no renovable, haciendo de la agricultura una actividad económica a la larga, menos contaminante y dentro de todo, más rentable. En general, en la mayor parte de América Latina, el biogás ha tenido un uso limitado para cocinar alimentos y calentar animales de granja. Aun así, el uso del biogás como alternativa de la usual utilización de los combustibles de tipo fósil para la generación de energía en MCI ha ganado protagonismo en la última década. [2] La alta inversión para construir un biorreactor estructural es una seria limitación para los pequeños agricultores debido a sus ingresos menores. Esto llevó a algunos ingenieros taiwaneses en los años sesenta a diseñar bio-desodorantes con materiales flexibles más baratos, locales y de fácil acceso. Sin embargo, primero se utilizaron nailon y neopreno, pero estos resultaron ser un poco caros. Un avance importante en la década de 1970 fue la combinación de PVC con residuos de fundición de aluminio, creando así el "PVC de barro rojo", y desde entonces ha sido suplantado por polietileno más económico y usado principalmente en América Latina, África y Asia. Desde 1986, el Centro de Investigación de Sistemas Sostenibles de Producción Agrícola (CIPAV) aboga por el uso de bio-desinfectantes plásticos de bajo costo como una tecnología precisa para aumentar la eficiencia el uso del estiércol animal, reduciendo así la presión sobre otros recursos naturales. Estos desodorantes biológicos al estilo de Taiwán consisten en un tubo de entrada, un tubo de salida, un tubo de metano para transportar el biogás generado, un dispositivo de seguridad que evita que el dispositivo se rompa por fermentación debido a la alta presión del gas y finalmente un tubo de

limpieza. [3] La energía solar fotovoltaica ha adquirido una notable importancia en Europa y el mundo, tanto por su importante papel industrial como por la adopción de medidas específicas que propician un importante desarrollo del mercado. Esta misma energía, por su estabilidad le ha dado la oportunidad de ingresar al mercado global sin complicaciones. Lo que la ha convertido en una de las ubicaciones preferidas en el mundo para instalar paneles fotovoltaicos como una central eléctrica. [4] Según el programa RETScreen, de la NASA, el centro poblado La Valle de Tumán, posee un promedio de radiación solar diaria de $5,38 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$, la cual es una radiación alta en comparación a la de otras ciudades, y por esto se puede aprovechar para la obtención de energía a partir de la implementación paneles solares.

Los sistemas de generación eléctrica híbridos generalmente aprovechan fuentes de energía primaria como la solar, geotérmica, hidroeléctrica, eólica y biomasa, entre otras. Este sistema multifuente tiene las ventajas de ser más equilibrado y estable, tener una mejor calidad de energía y proporcionar una salida estable de las fuentes principales, y reducir la dependencia de la salida de otras fuentes ante cambios externos como el cambio climático y la escasez de combustible, y la se optimiza el uso de las fuentes de energía alternativas disponibles. [5]

1.1. Realidad problemática

Según la AIE (2011), en 2009, cerca de 1 400 millones de usuarios, o una de cada veinte de la población mundial, no tenía acceso a energía eléctrica domiciliaria y cerca de 2 800 millones de personas carecían de servicios energéticos modernos para cocer sus alimentos. [6] Asimismo, en el Perú, Más de 39 mil viviendas del norte, centro y sur de la nación, que equivalen a 168 mil peruanos los cuales residen en las zonas rurales, carecen de energía eléctrica y no tienen acceso a este servicio. [7]

El no poder acceder al flujo eléctrico domiciliario y la escasez de algunos sistemas de infraestructura ha limitado el desarrollo tanto social como económico y obstaculizado las mejoras en los niveles de vida en el Perú. Genera un límite en la calidad de atención en los hospitales y la disminución del nivel educativo. [8] Este es el caso de las 10 familias del centro poblado La Valle ubicado en el distrito de Tumán, provincia de Chiclayo, región Lambayeque, donde no se cuenta con los servicios básicos, luz, agua y desagüe. En esta situación, se hace mucho más difícil la vida nocturna, ya que no pueden iluminarse, y sus horas de trabajo se ven disminuidas.

1.1.1. Formulación del problema

¿Se podrá generar energía eléctrica suficiente para satisfacer la demanda del Centro Poblado La Valle a partir de la implementación de un sistema híbrido solar fotovoltaico-biogás?

1.1.2. Delimitación de la investigación

Esta investigación se centrará en el diseño de un sistema híbrido fotovoltaico solar – biogás para la generación de energía eléctrica para uso de la comunidad como suministro eléctrico que se encuentra ubicado en el distrito de Tumán, provincia Chiclayo en la región Lambayeque.

1.2. Justificación del problema

- **Social:** Las familias del CC.PP. La Valle se verán beneficiados de gran manera, ya que con la implementación de este sistema híbrido solar fotovoltaico – biogás, tendrán acceso a energía eléctrica, mejorando así la calidad de vida de sus habitantes.
- **Económica:** Con el desarrollo de este proyecto de investigación, se evitarán los gastos de compras de velas, paneles solares, generadores eléctricos a base de combustible. Por razón de que a partir del sistema híbrido solar fotovoltaico – biogás se podrá generar

energía eléctrica para poder cubrir la demanda que se necesita en cada hogar, permitiendo así un ahorro económico.

- **Ambiental:** Se reducirá la contaminación puesto que se utilizarán los residuos fecales que existen tanto en la granja porcina “Hnos. Rojas”, como en la zona determinada para poder ser utilizados en el biodigestor y así evitar que se siga generando gases del efecto invernadero.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar un sistema híbrido solar fotovoltaico - biogás para producir energía eléctrica que nos permita satisfacer las necesidades eléctricas en el Centro Poblado La Valle – Tumán – Chiclayo – Lambayeque.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Cuantificar la cantidad de biogás que se puede obtener a partir de los diferentes tipos de estiércol animal que se encuentran en el CC.PP. La Valle - Granja “Hnos. Rojas”.
- ✓ Determinar la demanda de energía eléctrica de las viviendas del CC.PP. La Valle.
- ✓ Calcular y seleccionar los componentes del sistema híbrido solar fotovoltaico – biogás para generación eléctrica en el CC. PP. La Valle – Tumán.
- ✓ Realizar la evaluación técnico económica del sistema propuesto, utilizando los indicadores económicos TIR, VAN, B/C.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Empíricos.

2.1.1. Mundiales

Según [9] realizó un estudio sobre la generación de electricidad a partir del uso energías renovables cuyo entorno es el vertedero "El carrasco" y su alto potencial en la producción tanto de biogás como en energía solar, producto de la acumulación de biomasa utilizable en el mismo vertedero. Para lograr diseñar el sistema fotovoltaico se estimó el uso de software PVSyst. Y para la determinación de las características solares, y para poder calcular las emisiones de metano (CH_4) a partir de los residuos totales, se utilizó el modelo del IPCC. Se obtiene un valor máximo de emisión de biogás equivalente a $629 \text{ ft}^3/\text{min}$, con lo que esperamos llegar a una generación de 1456 kW, y a partir del sistema fotovoltaico se obtiene 175 855 kWh/día.

En el trabajo de [10] se proyectó analizar la viabilidad de adoptando la generación distribuida de energía eléctrica en una granja porcina mediante el uso del biogás generado a partir de desechos porcinos. Para determinar el potencial del biogás producido se utilizará la fórmula de Pratti, y para la correcta elección del biodigestor a implementar se tendrán en cuenta los valores del volumen generado de biogás y la capacidad económica con la que se cuenta. Para su evaluación económica se utilizarán indicadores como el VAN, TIR y BCR. Para cubrir la demanda energética de la finca es necesario un generador de 120 kVA. Los resultados indicaron que el volumen de los residuos producidos en un año se estimó en $22.897,12 \text{ m}^3$, la cantidad de residuos producidos por día fue de $62,73 \text{ m}^3$. Si está conectado 18 horas al día y 30 días al mes, este generador puede producir 41,472 kWh de electricidad por mes. Por lo tanto, a medida que la finca adopta el tiempo de tasa de uso, con un consumo medio mensual de 907 kWh en horas pico y 46 kWh en horas pico, el ahorro será de R \$ 139 469,90 anuales.

2.1.2. Nacionales

En la investigación de [11] se busca el diseño y posterior implementación de un concentrador solar conectado a un motor Stirling. Para la construcción del concentrador solar se utilizó una antena TV, la cual se forró de un material reflectivo como el mylar para aprovechar al máximo la radiación solar alcanzando temperatura de $200 \text{ }^\circ\text{C}$, junto a esto se diseñó el seguidor solar para siempre estar en contacto con el sol en todo su recorrido a través de su movimiento. Posteriormente se construyó el motor Stirling y se puso a funcionamiento obteniendo resultados

tales como una velocidad angular de 700 rpm, que conectados a un generador eléctrico podrían convertirse en energía eléctrica en kWh para poder ser utilizado.

Según [12] busca diseñar un sistema híbrido fotovoltaico – Biogás con el fin de generar energía eléctrica en la comunidad San Jacinto en Loreto. Se realiza los cálculos correspondientes como el número de paneles y el volumen del biodigestor, y así logrando el correcto el dimensionamiento tanto del sistema fotovoltaico, como el del biodigestor y ambos son unidos a un solo sistema, un sistema híbrido. Obteniendo resultados tales como una radiación solar promedio $4,66 \text{ kWh/m}^2$ y una cantidad de estiércol diario generado de $91,29 \text{ kg/día}$ con una producción de biogás de $5,489 \text{ m}^3$, el cual alcanza un valor de $12,0758 \text{ kWh/día}$, pudiendo así satisfacer las necesidades de la localidad.

2.1.3. Regionales

En la investigación de [13] diseñó un biodigestor para la producción de biogás a partir de las deyecciones ganaderas, contribuyendo a cubrir las necesidades energéticas eléctricas y de cocina de una vivienda situada en una zona rural del CC.PP. Minas en Pátapo - Chiclayo - Distrito de Lambayeque. Se determina una máxima demanda de energía eléctrica cuyo valor es de $1,10 \text{ kWh/día}$, lo cual según los cálculos aplicados se determina obteniendo $0,22 \text{ m}^3/\text{día}$ de biogás. Y además para cubrir las necesidades de cocción de alimentos se dispondrá de $0,30 \text{ m}^3$ al día, de biogás.

En el proyecto de investigación de [14] diseñó un biosistema para la generación de energía eléctrica, este sistema es del tipo híbrido solar fotovoltaico – biogás de 15 kW, ubicado en el Caserío Pósope Bajo - Pátapo. Se utilizó la base de datos de la NASA para obtener los datos de irradiancia, donde podemos observar que el valor de radiación del sol mensual en la zona, es de aproximadamente $4,97 \text{ kW/m}^2$. Además, para poder calcular la cantidad de estiércol animal en la zona, se realizó una encuesta entre los pobladores. Estos residuos de excretas animales, obtuvieron un valor total de 56 kg/día , con una generación de biogás de $17,072 \text{ m}^3/\text{día}$. En el sistema fotovoltaico para cubrir la demanda energética de 36 kWh se determinó que el número de paneles a utilizar serán 32 conectados en grupos de 2 para así poder operar a 48V.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Energía Eléctrica:

Actualmente es una de las tantas formas de expresar la energía a nivel industrial, unifamiliar, comercial o para el transporte. Lo que caracteriza a esta energía son, su cómoda compatibilidad, su alta flexibilidad y su limpieza. Esta se produce en masa centralmente en ciertos sitios, y se puede transmitir de manera fácil, segura y económica a largos y diferentes destinos, y en última instancia, se puede ajustar de manera que se requiera. Se utiliza principalmente para trabajos mecánicos e iluminación. [15]

2.2.2. Energías Renovables:

Es simplemente energía de origen que sea capaz de renovarse a sí misma a través de procesos propios de la naturaleza a una tasa igual o superior a la de su uso. Se posee a partir de flujos de energía continuos o repetitivos que realiza el medio ambiente, la naturaleza en sí. Estas incluyen tecnologías bajas en carbono como, la energía solar, energía eólica, tecnologías de centrales hidroeléctricas, mareomotriz, undimotriz, geotérmica, etc. Así, y de la misma forma, también a la biomasa. [16]

2.2.2.1. Energía Solar:

Aprovechan la radiación generada y dada por el sol para producir flujo eléctrico por procesos de paneles fotovoltaicos o por energía concentrada, generando energía térmica (para calefacción o refrigeración) para uso directo de alumbrado y, eventualmente, para la producción de transporte o combustible.

2.2.2.2. Bioenergía:

Se obtiene de diversos orígenes de biomasa, tanto de, subproductos forestales, agrícolas o ganaderos; rotación rápida de plantaciones forestales; árbol de energía; composición orgánica de los RSU y otros residuos orgánicos. A través de varios procesos, pueden producir electricidad o calor, o para crear combustibles. [17]

2.2.3. Biomasa:

Según la Directiva 2009/28/CE sobre el fomento del uso de energía producida a partir de fuentes renovables, la biomasa se define como la fracción biodegradable de los productos biológicos, desechos y residuos procedentes de actividades agrícolas (incluidas las sustancias de origen vegetal o animal), silvicultura e industrias afines, incluidas la pesca y la acuicultura, así como

los residuos industriales y la ciudad son biodegradables. Es por esto, que los recursos de biomasa procederán de fuentes muy diversas y heterogéneas.

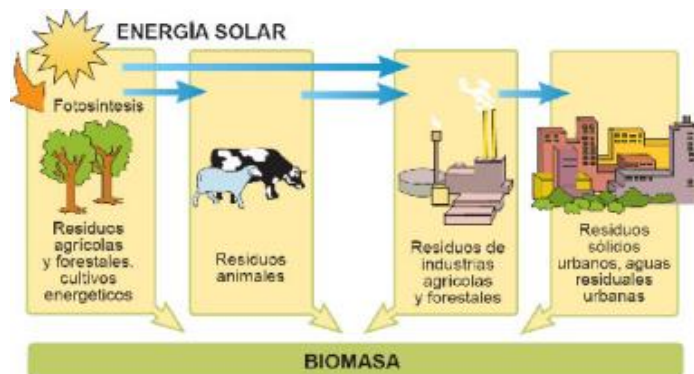


Imagen 1: Esquema de la Biomasa

Fuente: Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad, Cap. 01

2.2.4. Tipos de biomasa:

Son muchas las clasificaciones que se le dan a la Biomasa, pero de acuerdo a su origen y estado, las usualmente aceptadas se podrán observar en la imagen 2.

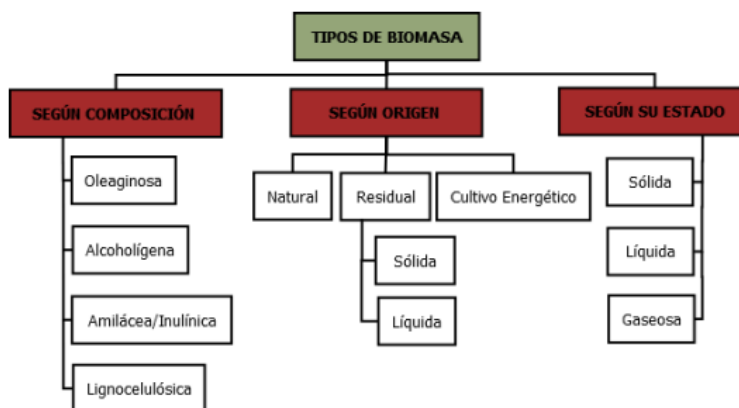


Imagen 2: Esquema de los tipos de biomasa

Fuente: Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad, Cap. 01

2.2.4.1. Según el origen

De origen natural:

Es la que se produce espontáneamente en la naturaleza misma, en círculos ecosistémicos que no han sido intervenidos por el hombre. En general, su extracción no es de interés por circunstancias financieras ya que no es rentable gestionar la obtención y transporte de materias primas hasta el lugar de utilización. Aun así, hoy en día es la principal fuente de energía para los pueblos pequeños y los países en vías de desarrollo.

De origen residual:

Está formado por biomasa procedente de desperdicios generados por el avance en acciones del ser humano y este se conoce como residuo biodegradable. Se clasifican en sólidos, líquidos, secos y húmedos.

- Residuos agrícolas, forestales y hortícolas: paja, mazorcas de maíz, residuos agrícolas, residuos de basura del procesamiento forestal, etc.
- Residuos de la industria agrícola y forestal: como residuos de la producción de aceite de oliva, industria del aceite de oliva, vino y alcohol, frutos secos, restos de madera, aserrín, etc.
- Residuos sólidos municipales (URS) y aguas residuales municipales (URA).
- Residuos ganaderos: principalmente lodos.
- Residuos agrícolas: industria láctea, destilerías, aceiteras, conserveras, etc.
- Aceites de cocina usados.

Obtenidos de los cultivos energéticos:

Son los cultivos que no se destinan a ser alimentarios sino a la obtención de energía. En comparación a los cultivos agrícolas que son con finalidad alimenticia, los agro-energéticos son seleccionados en sostén a la obtención de biomasa, más no al buscar calidad, y suelen caracterizarse por su robustez a fin de reducir los costos de laboreo y, por tanto, la cuantía de la biomasa final.

2.2.4.2. Según el estado**a) En estado sólido.**

Es el tipo de biomasa más conocido e incluye madera procedente de tratamientos selvícolas, residuos industriales de aquellas que trabajan con todo tipo de biomasa (carpintería, papeleras, etc.), residuos de poda y limpieza de jardines y jardines, subproductos agrícolas o residuos (p. ej. paja), subproductos agrícolas (legumbres, aserrín), fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), etc.

b) En estado líquido.

Aquí entran a tallar los residuos ganaderos – industriales y las aguas residuales municipales (ARU). La mayoría de las referencias incluyen petróleo y biocombustibles (bioalcohol y biodiesel) en esta etapa.

c) En estado gaseoso.

Es el metano o biogás obtenido a partir de residuos ganaderos, agrícolas, escombreras y vertederos, etc. Obtenidos por diferentes procesos (microbiológicos, termoquímicos, etc.)

2.2.5. Características de la Biomasa:

2.2.5.1. De acuerdo a su composición química:

Se componen de parte orgánica, inorgánica y agua. En el proceso de combustión, la parte orgánica se quema y la parte inorgánica forma cenizas o residuos sólidos. La composición química se puede conocer analizando los elementos como, el carbono (C), el hidrógeno (H), el nitrógeno (N), el azufre (S) y hasta a veces, el cloro (Cl). También oxígeno (O), pero este se determina a partir de la diferencia entre el peso total y la suma del resto de elementos más la ceniza.

2.2.5.2. De acuerdo a su contenido en la Humedad:

Conocida también como humedad relativa, se obtiene mediante la fracción entre la masa de agua por kilogramo de materia seca. El contenido de humedad se puede calcular sobre un contenido seco (h) o humedad (H), ya que el peso húmedo de la leña húmeda (Ph) y su peso en seco (Po) se obtienen pesando la leña caliente después de hacerla en el horno, evaporar el agua. Entonces tenemos:

$$h = \frac{Ph - Po}{Po}, \quad H = \frac{Ph - Po}{Ph} [r]$$

Cuanto más mínimo sea el contenido, mayor será su poder calorífico y su posterior combustión, ya que al quemar biomasa primero se debe evaporar el agua antes de que se presente el calor. La mayoría de las conversiones de energía necesitan valores de humedad relativa por debajo del 30%. Con valores más altos, las operaciones de acondicionamiento y secado deben realizarse antes de la conversión de energía.

2.2.5.3. De acuerdo a su poder calorífico:

Este poder calorífico es un parámetro que expresa la energía que dispone la biomasa en estudio y se expresa como energía sobre su masa (por ejemplo, J/kg). Al momento de quemar la biomasa en su totalidad, esta energía se expresa en forma de calor. Específicamente, el poder calorífico superior (PCS) es el calor realmente generado en una reacción de combustión y el valor calorífico inferior (VCI) es el calor realmente utilizable, que se produce sin el uso de energía condensada de agua y otros procesos. El VCI del combustible se obtiene mediante el PCS, sustrayéndole el calor latente al agua:

$$\text{VCI} = \text{PCS} - 2,5 (9\text{H} + \text{H}_2\text{O})$$

Donde:

- VCI, Valor calorífico inferior, unidad (MJ/kg)
- PCS, Poder calorífico superior, unidad (MJ/kg)
- H, porción de hidrogeno por combustible.
- H₂O, cantidad de humedad por combustible.
- Calor de condensación del agua a 0°C (MJ/kg de agua)

Normalmente, en la biomasa, la cantidad energética que conlleva, se mide en términos del PC, aunque para la biomasa residual húmeda, se mide en términos del PC del producto energético obtenido durante el proceso.

2.2.5.4. De acuerdo a su densidad:

Es el peso por unidad de volumen de un fluido. Los combustibles de densidad alta favorecen las relaciones de energía por volumen porque se requieren tamaños de dispositivos más pequeños y un mayor tiempo entre las cargas de los dispositivos. Por el contrario, las materias primas de densidad baja son las que requieren mayores volúmenes de almacenamiento y de transporte.

2.2.6. Aplicaciones de la Biomasa:

La diversa y alta cantidad de biomasa disponible, así como el desarrollo de diferentes tecnologías para convertirla en energía, nos hacen posible darles muchas y distintas aplicaciones, de entre las cuales las destaca la producción de calor, energía eléctrica, combustibles y biogás:

2.2.6.1.Energía térmica:

Habitualmente se utiliza biomasa sólida (natural y residual), aunque a veces es posible quemar biogás por digestión anaeróbica de residuos líquidos o gaseosos de síntesis generado durante la gasificación por solidificación. El sistema de combustión directa se aplica para dar y/o generar calor para sus fines correspondientes. La generación de calor sigue una línea de uso que parte de calderas o estufas individuales que se utilizan tradicionalmente en los hogares.

2.2.6.2.Biocombustibles:

En este punto cabe distinguir entre la producción de biocarburante para vehículos diésel y la de carburante para vehículos con motor de encendido activo. El primero se deriva de cultivos o plantas oleaginosas (por ejemplo, girasol, colza, maní) y sustituye a los combustibles convencionales, y el segundo se deriva de cultivos o especies vegetales ricas en azúcar (remolacha, manzana molida, caña de azúcar, maíz, etc.). Sustituyendo así la gasolina.

2.2.6.3.Gases combustibles:

Es una de las aplicaciones menos utilizada hoy en día y consiste en la descomposición de biomasa en un digestor para obtener gases, cuyos compuestos combustibles son esencialmente metano, pero también contienen nitrógeno, vapor de agua, entre otros. El gas resultante tiene un poder calorífico menor al usual, pero es útil en aplicaciones en la obtención de luz y calor.

2.2.7. Biogás

Es una mezcla gaseosa obtenida por la descomposición de materia orgánica por microorganismos en ausencia de oxígeno. Se compone de metano en proporciones que varían de 50 al 70 % aproximadamente y dióxido de carbono (CO₂), que contiene un pequeño porcentaje de otros gases como el hidrógeno, el nitrógeno, el oxígeno y el sulfuro de hidrógeno.

2.2.7.1. Aplicaciones que se le dan al biogás

Dentro de las tantas aplicaciones que se le dan a este biogás, podemos usarlo para cocinar nuestros alimentos, para la iluminación de nuestro hogar, para la refrigeración, para la calefacción de ciertos ambientes, para el funcionamiento de motores de combustión interna y de generadores eléctricos. [18]



Imagen 3: Utilizaciones que se le dan al biogás

Fuente: Manual del biogás

Tabla 1: Absorción y productividad de distintos equipos utilizando biogás

Equipo	Absorción	Productividad (%)
Quemador de cocina	310 – 500 litros/hora	60 - 65
Lampara a mantilla	125 – 185 litros/hora	25 – 60
Heladera de 100 L	40 – 80 litros/hora	25 – 35
Motor a gas	0,4 m ³ /kWh - Hph	30 – 40
Quemador de 10 kW	2 m ³ /hora	75 – 85
Infrarrojo de 200 W	40 litros/hora	97 – 98
Cogenerador	0,9 kW electricidad	Hasta 95

Fuente: Manual del biogás

2.2.7.1. Agentes que influyen en la producción de biogás

Los principales agentes que influyen en la producción de nuestro biogás, son:

- Residuos de hortalizas, tubérculos y frutos podados
- Residuos y estiércol de origen tanto animal como humano.
- Aguas residuales industriales agrícolas orgánicas (producción de vino, procesamiento de frutas y verduras, productos lácteos, carne, alimentos en general).

- Lodos forestales y plantas acuáticas.

Tabla 2: Cantidad de excretas producidas según animal y rendimiento

Especie	Peso vivo	kg de estiércol/día	Litro/kg S.V.	% Metano
Cerdos	100	4 – 60	340 – 550	60 – 70
Vacunos	400	25 – 40	90 – 310	60
Equinos	450	12 – 16	200 – 300	60
Ovinos	45	2,5	90 – 310	60
Aves	1,5	0,06	310 – 620	55
Caprinos	40	1,5	110 – 290	-----

Fuente: Manual del biogás

2.2.7.2. Contenidos de la biomasa a emplear:

Los contenidos de los sólidos que nos permiten obtener biogás son los sólidos totales y volátiles.

Sólidos totales:

Es, la materia que se observa como un residuo después de la evaporación del agua, tanto orgánica como inorgánica. En este proceso es importante una humedad ideal para el procedimiento biológico.

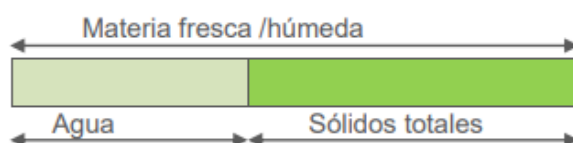


Imagen 4: Sólidos totales en la materia fresca

Fuente: Manual del biogás

Sólidos Volátiles:

Son materias que se separan después de la calcinada de la materia fresca. Se obtienen residuos no orgánicos y no volátiles del tipo ceniza. Este parámetro cuantitativo de materia de tipo

orgánica de la cual dispone para microorganismos y, por tanto, potencialmente convertida en biogás. [19]

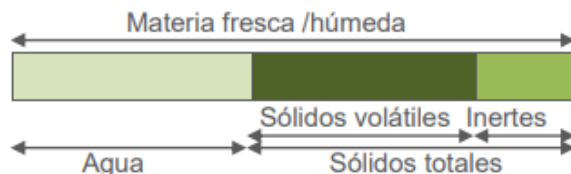


Imagen 5: Sólidos volátiles en la materia fresca

Fuente: Manual del biogás

2.2.8. Biodigestor

El recipiente de compostaje biológico es un tanque sellado, hermético en su totalidad, e impermeable, en su interior contiene materia orgánica, según la relación fecal-agua y tiempo de retención (dado en días) para la descomposición anaerobia, produciendo metano y fertilizantes, disminuyendo la usual contaminación fecal. Estos pueden ser construidos con materiales como el ladrillo, cemento, metal, plástico, etc.

2.2.8.1. Digestión anaeróbica

Es la degradación mediante un proceso biológico u oxidativa de la materia orgánica donde tienen lugar unos microorganismos dados, que actúan en ausencia del aire. En este proceso, el material descompuesto se convierte en dos productos aprovechables, uno en un producto inerte y estable llamado biol y el otro en un biogás con alto contenido de metano, donde estos dos productos obtenidos cargan con energía. [20]

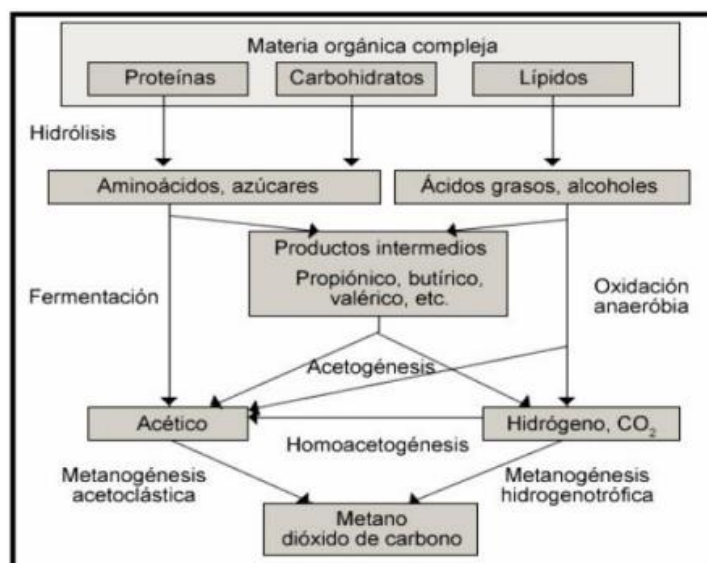


Imagen 6: Etapas de la digestión anaeróbica

Fuente: Codigestión Anaeróbica De Estiércol Para Producción De Biogás

2.2.8.2. Tipos de biodigestores

Los digestores anaeróbicos se pueden diseñar a diferentes escalas, dependiendo de los objetivos y capacidades de las partes interesadas, la cantidad de materias primas disponibles como sustrato y las necesidades energéticas de los beneficiarios.

4.2.8.2.1. Digestor anaeróbico de campana flotante:

También llamado “tipo hindú”, Este digestor anaeróbico consiste en un digestor construido en mampostería u hormigón y un tanque de gas portátil en forma de campana, que puede flotar directamente sobre el fermentador o sobre el anillo de agua, dependiendo de la producción de gas biológico. La campana dispondrá de una barra guía que permita el movimiento vertical, cuya altura dependerá del volumen de gas almacenado.

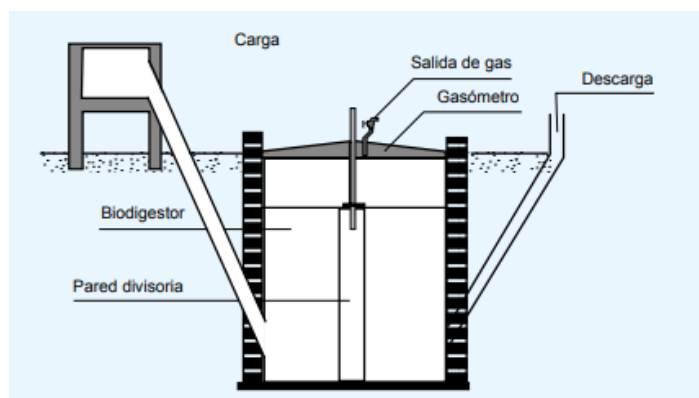


Imagen 7: Digestor anaeróbico tipo Indiano

Fuente: Manual del biogás

Digestores anaeróbicos horizontales

Se utilizan cuando se hace problemático el tema de hacer una excavación para la instalación de algún biodigestor. Estas tuberías generalmente se construyen bajo tierra, poco profundas y largas, como el canal, con una relación de largo a ancho de 5:1 a 8:1 y una sección transversal circular, cuadrada o en "V". Operan en un modo semicontinuo, ingresando a la alimentación en un extremo del digestor y dejando lodos en el otro extremo. Los domos pueden ser rígidos o estar hechos de materiales dúctiles a prueba de fugas y resistentes a la intemperie. [19]

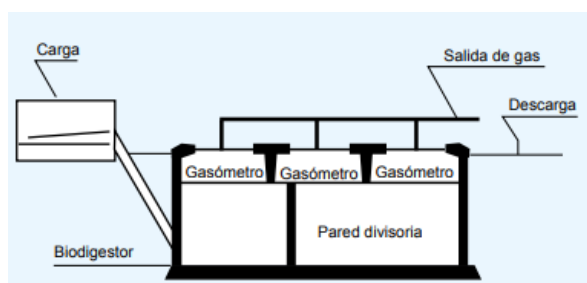


Imagen 8: Digestor Anaeróbico tipo horizontal

Fuente: Manual del biogás

Digestor anaeróbico de campana fija:

Consiste en un digestor integrado y una cúpula sellada fija e inamovible que alberga el biogás. Durante la producción de biogás, la masa de fermentación se transfiere al tanque de compensación, y cuando se extrae el gas, la masa líquida regresa al tanque de biodecantación. Gracias a la constante oscilación del fermentador en la parte superior de la cúpula se evita la formación de sobrenadante.

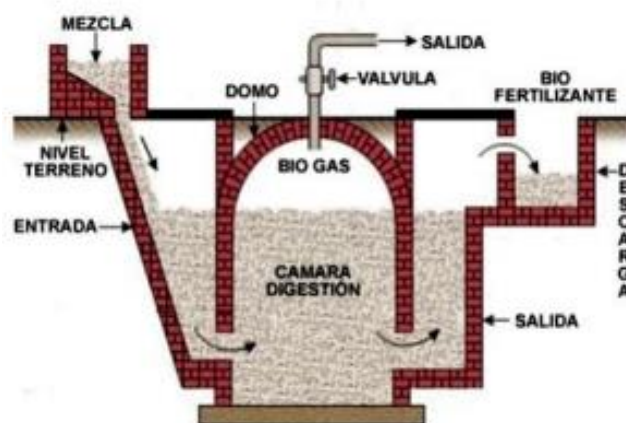


Imagen 9: Digestor Anaeróbico de campana fija

Fuente: Manual del biogás

Digestor anaeróbico tipo tubular o Taiwán:

El árbol de globos está hecho de materiales plásticos tubulares (polietileno, PVC, plastilina y varios otros, y combinaciones de los mismos) que están totalmente sellados, tanto la parte de suministro como la de salida están unidas conjuntamente a las paredes del árbol. La parte inferior de la planta, con un volumen de 70%, forma el fermentador, y en la parte superior, el 30% restante, es el biogás almacenado. Esta planta se recomienda para ser cultivada en áreas con temperaturas altas y estables. [21]

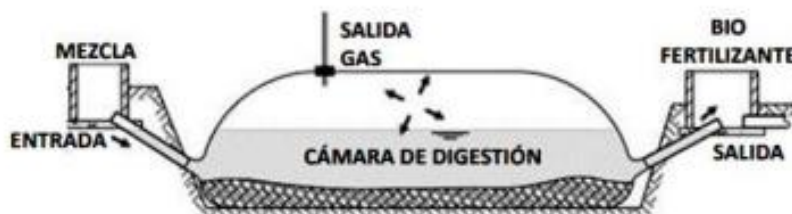


Imagen 10: Digestor Anaeróbico tipo Taiwán

Fuente: Manual del biogás

2.2.8.3. Tiempo de retención y temperatura

Es exclusivamente imprescindible estudiar el tiempo de retención de acuerdo con la temperatura a la que se opera. Este tiempo es el período de la digestión anaeróbica, es el tiempo requerido para que las bacterias descompongan el lodo y produzcan biogás. Por lo tanto, este tiempo dependerá de la temperatura del área donde se instalará el biómetro. Así, a temperaturas más bajas, se necesitará un mayor tiempo de retención para las bacterias, que serán menos activas, teniendo tiempo de descomponer el lodo y producir biogás. [22]

Tabla 3: Tiempo de retenimiento según la temperatura

Tipo de Región	Temperatura (°C)	Tiempo de retenimiento (días)
Tropical	30	20
Valle	20	30
Altiplano	10	60

Fuente: Biodigestores Familiares

2.2.8.4. Carga diaria de sustrato al biodigestor (CDS)

Los desechos orgánicos deben diluirse en agua para abastecer el biotanco y crear las condiciones para que las bacterias anaerobias trabajen para producir biogás y fertilizantes. La dilución recomendada ahora es de 1:3 o 4 para evitar sustancias cremosas en el digestor que interfieren o interfieren con la liberación de aire. [23]

$$CDS = CEU + \text{agua} \dots (1)$$

Donde:

- CDS = Carga diaria en litros/día.
- CEU = Cantidad de estiércol utilizable.

2.2.8.5. Volumen del biodigestor (VD)

El biotanco se compone de dos zonas, la parte gaseosa donde se acumulará el biogás generado por la biodegradación y la parte líquida correspondiente a la biomasa o al sustrato, estas dos partes forman el volumen total del decantador biológico. En una relación de 70% de parte líquida y 30% parte gaseosa.

$$VD = VS + VB \dots (2)$$

Donde:

- VS = Volumen del sustrato líquido.
- VB = Volumen del biogás.

Para calcular el volumen correspondiente al sustrato en forma líquida, se multiplica el tiempo necesario para descomponer la materia orgánica por la carga diaria de estiércol, este tiempo de retención depende totalmente de la temperatura y varía según el lugar de instalación Montar tanque biológico.

$$VS = CDS * TR \dots (3)$$

Donde:

- CDS = Carga diaria en litros/día.
- TR= Tiempo de retención.

Para calcular el volumen que ocupará el biogás simplemente dividiremos el valor del volumen del sustrato entre tres.

$$VB = \frac{VS}{3} \dots (4)$$

Donde:

- VB = Volumen del biogás.
- VS = Volumen del sustrato líquido.

2.2.8.6.Densidad del sustrato (ρ)

$$\rho = \frac{M}{V} \dots (5)$$

Donde:

- ρ = Densidad.
- M= Masa del estiércol.
- V= Volumen.

Para obtener el valor de la densidad necesitaremos conocer el volumen, en este caso lo hallaremos a través de la siguiente formula:

$$V = \pi r^2 h \dots (6)$$

Donde:

- π = Valor de Pi.
- r = Radio del cilindro
- h = Altura que alcanza la mezcla en el cilindro.

2.2.8.7. Cálculo de generación diaria de estiércol a utilizar

$$E_T = E_p * \#V_c \dots (7)$$

Donde:

- E_{Tc} = Cantidad total de estiércol generado en un día.
- E_{pT} = Cantidad de estiércol por cada animal.
- $\#V_c$ = Número de cabezas de animales a disposición.

2.2.8.8. Volumen de estiércol disponible

$$V_{ED} = \frac{E_{Tc}}{\rho} \dots (8)$$

Donde:

- V_{ED} = Volumen de Estiércol disponible.
- E_T = Cantidad total de estiércol generado en un día.
- ρ = Densidad.

2.2.8.9. Cantidad de solidos totales en el estiércol fresco en los vacunos.

Tabla 4: Solidos totales y su relación a el estiércol fresco

Peso (kg)	Definición	Relación	Definición
1	Estiércol Fresco (EF)	0,20 kg	Solidos totales (ST)

Fuente: Edwin Toala, 2013

Relación de biogás y solidos totales:

Tabla 5: Relación de biogás a los sólidos totales

Peso (kg)	Definición	Relación	Definición
1	Estiércol Fresco (EF)	0,20 m ³	Biogás a Pr. Atm.

Fuente: Edwin Toala, 2013

2.2.9. Número mágico en la producción de biogás.

Tabla 6: Número mágico para la producción de biogás

Animal	Litros de biogás producidos al día por kg de estiércol fresco
Cerdo	51
Vacuno	35,3

Fuente: Martí Herrero, 2008

2.2.10. Sistema solar fotovoltaico:

Los sistemas fotovoltaicos de tipo autónomo (SFA) generan energía eléctrica en respuesta al consumo cargas eléctricas que no están conectadas a la red, utilizan sistemas de almacenamiento de energía (baterías) para combatir con los períodos de menor producción que consumo. [24]

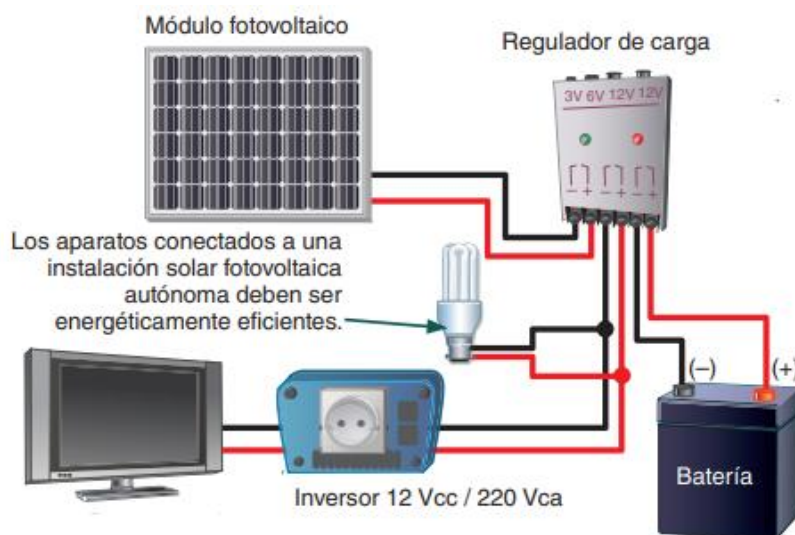


Imagen 11: Componentes de un sistema solar fotovoltaico

Fuente: Mheducation

2.2.10.1. Paneles fotovoltaicos (N_p)

Son los equipos que permiten la transformación de la energía solar en energía eléctrica. También llamado modulo fotovoltaico e incluido algunas celdas fotovoltaicas, su producción de energía está dada en corriente continua (CC).

$$N_p = \frac{E}{0,9 * W_p * HSP} \dots (9)$$

Donde:

- N_p = Numero de paneles
- W_p = Potencia del panel fotovoltaico
- HSP = Horas sol pico

Horas sol pico (HSP)

$$HSP = \frac{\text{Radiacion solar global media}}{\text{Valor de la potencia de la irradiancia en condiciones medias}} \dots (10)$$

Donde:

- HSP = Horas sol pico. [25]

2.2.10.2. Baterías (Cb)

Es el componente que almacena la energía eléctrica que recibe, proveniente de los paneles fotovoltaicos para la distribución de energía en cuando sea necesario. Las baterías tienen una gran valoración además de una importancia básica dentro de los sistemas fotovoltaicos.

$$C_b = \frac{E * N}{P_d * V} \dots (11)$$

Donde:

- C_b = Capacidad de las baterías
- E = Demanda eléctrica
- N = Número de días de autonomía
- P_d = Profundidad de descarga permitida

2.2.10.3. Regulador de carga

Se encarga de conectar y desconectar el panel fotovoltaico, dependiendo de que, si la batería tiene o no, carga. Además, también deja el panel fotovoltaico en estado de circuito abierto cuando hay que desconectarlo.

$$ISF = \frac{N_p * I_{sc} \text{ del panel fotovoltaico} * 1,25}{N_p \text{ serie}} \dots (12)$$

Donde:

- ISF = Regulador de carga

- N_p = Numero de paneles
- N_p serie = Numero de paneles en serie

2.2.10.4. Inversor

La función del inversor es convertir la tensión de corriente continua (DC) de la batería en corriente alterna (AC) y puede utilizar aparatos y electrodomésticos que normalmente funcionan con este tipo de corriente, normalmente suele ser a 110V/220V.

$$Cap_{inv} = \frac{PI * 100\%}{n} \dots (13)$$

Donde:

- Cap_{inv} = Capacidad del Inversor
- PI = Potencia instalada
- n = Eficiencia del inversor

2.2.10.5. Conductor eléctrico

Los conductores son elementos que conducen corriente a una carga o conectan los mecanismos de un sistema fotovoltaico. Los conductores constan de dos elementos básicos, conductores y aisladores. [26]

Las pérdidas en los conductores eléctricos tienen un valor ya dado, tanto para su valor recomendado de caída, como para su valor máximo admisible, los cuales se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 7: Pérdidas recomendadas

Tramo		Valor recomendado	Valor máximo admisible
Panel fotovoltaico	Regulador de carga	1%	3%
Regulador de carga	Baterías	0,5%	1%
Baterías	Inversor	1%	1%

Fuente: Manual de la instalación del regulador de carga

Sección de conductor:

Para determinar la sección de conductor en los distintos pasos que tenga en nuestro sistema, [27] se utilizará la siguiente fórmula:

$$S(\text{mm}^2) = 4,4 * 10^{-2} * \frac{l * i}{\Delta V} \dots (14)$$

Donde:

- S = Sección de conductor
- $4,4 * 10^{-2}$ = Factor de conductividad del material
- l = Longitud del tramo de cable
- ΔV = Caída de Tensión recomendada

2.2.10.6. Barras colectoras

$$P = V * I * \text{Cos}\phi \dots (15)$$

Donde:

- P = Potencia Nominal
- V = Voltaje
- I = Intensidad
- $\text{Cos } \phi$ = Factor de potencia

2.2.10.7. Angulo de inclinación

El ángulo de inclinación para una superficie que esta fija [28], se puede calcular mediante la fórmula:

$$\beta_{\text{opt}} = 3,7 + (0,69 * |-\text{Latitud}|) \dots (16)$$

3. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Enfoque

Mixta: Se emplearán en la investigación datos cualitativos como cuantitativos.

3.1.2. Tipo y nivel de investigación.

Descriptiva y exploratoria, ya que analizaremos la información y describiremos de manera completa y concisa y esta pueda ser utilizada para investigaciones futuras.

3.2. Diseño de la investigación

La falta de energía eléctrica en el Centro Poblado La



- ✓ La falta de energía eléctrica en el CC.PP. La Valle pone en peligro los servicios esenciales de las familias que viven ahí, tales como como la provisión de agua.
- ✓ Al no contar con flujo eléctrico se les complica la utilización de electrodomésticos básicos. Y por esta misma ausencia de energía eléctrica no es posible la iluminación durante las noches, lo que interrumpe sus actividades y obliga a cesar de las mismas en las tardes.



- ✓ Cuantificar la cantidad de biogás que se puede obtener a partir de los diferentes tipos de estiércol animal que se encuentran en el CC.PP. La Valle - Granja "Hnos. Rojas".
- ✓ Determinar la demanda de energía eléctrica de las viviendas del CC.PP. La Valle.
- ✓ Calcular y seleccionar los componentes del sistema híbrido solar fotovoltaico – biogás para generación eléctrica en el CC. PP. La Valle – Tumán.
- ✓ Realizar la evaluación técnico económica del sistema propuesto, utilizando los indicadores económicos TIR, VAN, B/C.



- ✓ Evaluar la capacidad de generación de biogás de cada tipo de estiércol obtenidos de las diferentes casas de la zona, y así poder dimensionar correctamente el biodigestor tipo Taiwán.
- ✓ Realizar un estudio en el programa Excel donde calculemos la cantidad de potencia total que necesitan las familias de la zona.
- ✓ A través del programa RETScreen Expert para determinar la cantidad de radiación por metro cuadrado en el CC.PP. La Valle, y así poder dimensionar el concentrador solar.
- ✓ Cuantificar la cantidad de energía que se puede obtener por los paneles fotovoltaicos y el biodigestor para así unirlos y tener un solo sistema de generación de energía eléctrica.



- ✓ Energía eléctrica en el Centro Poblado La Valle – Tumán – Chiclayo.

3.3. Operación de Variables

3.3.1. Variable dependiente:

Generación de energía eléctrica en el centro poblado La Valle – Tumán.

3.3.2. Variable Independiente:

Diseño de un sistema híbrido solar fotovoltaico-biogás.

Tabla 8: Operación de Variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Variable Independiente	Un sistema híbrido es aquél que aprovecha dos o más fuentes de energía para suministrar la energía requerida. Un buen diseño de un sistema híbrido busca:	Aprovechando la radiación solar horizontal reflejada en los paneles fotovoltaicos, el biogás obtenido del estiércol animal y determinando la potencia necesaria para satisfacer la falta de energía eléctrica, se realizará el diseño del sistema híbrido, el cual permitirá brindar la cantidad de energía eléctrica suficiente para las familias del CC.PP.	Paneles fotovoltaicos	Radiación Solar horizontal	kWh/m ²
				Tensión de entrada y de salida	kV
Diseño de un sistema híbrido solar fotovoltaico-biogás	- Garantizar la generación de la energía necesaria. - Minimizar la dependencia del sistema de almacenamiento. [10]		Biogás	Cantidad de estiércol animal	Kg/día
				Poder calorífico	kcal/Kg
				Porcentaje de Metano	%

Variable dependiente	La generación de este tipo de energía se obtiene a partir de la conversión de energía no eléctrica (química, mecánica, térmica, solar, nuclear, etc.) en energía eléctrica, para posteriormente ser utilizada en lo que se necesite. [11]	Obteniendo el número de viviendas de la zona, y también la cantidad de electrodomésticos por hogar, se podrá determinar la potencia mínima requerida para satisfacer las necesidades de la comunidad.	Demanda Energética	Potencia	kW
Generación de energía eléctrica en el centro poblado La Valle - Tután					

Fuente: Propia

3.4. Técnicas e Instrumentación de recolección de datos

Para la recolección de datos se realizaron diferentes técnicas:

- Encuestas
 - Ficha de encuestas realizadas a los propietarios de la granja “Hnos. Rojas” y a los pobladores del CC.PP. (agregar, cerrar).
- Búsqueda de material bibliográfico.
 - Revisiones de artículos de investigación en revistas académicas (agregar, cerrar).
 - Reconocimiento en proyectos de investigación de otras universidades.
- Ficha de búsqueda de información de terceros.
 - Valores obtenidos de la base de datos de la NASA (agregar, cerrar).
 - Datos obtenidos del MINSA (agregar, cerrar).
- Cotizaciones de equipos a utilizar.

3.5. Procedimiento para la recolección de datos

La obtención de datos de radiación solar se obtendrá del programa REETScreen Expert, de la NASA, junto al programa de Google Earth, para obtener la geografía precisa del lugar donde pretendemos instalar este sistema híbrido. Utilizando encuestas realizadas tanto a los pobladores como a los dueños de la granja, conseguiremos la cantidad de estiércol generado (biomasa) que emplearemos en nuestro biodigestor. Además, nos apoyaremos de fuentes bibliográficas para cuantificar la cantidad de biogás que se puede obtener a partir de la biomasa utilizada.

Consultamos al Ministerio de salud del Perú (MINSA), para poder tener el número de familias que se encuentran en el centro poblado. Junto a esto utilizamos la tasa de crecimiento promedio del distrito de Tumbán para poder así, obtener un valor aproximado de la demanda máxima de energía eléctrica proyectada a 20 años en la localidad.

La revisión de artículos e investigaciones sirvieron como evidencia y apoyo para el desarrollo de esta tesis. Las fórmulas utilizadas en este proyecto de investigación fueron tomadas de investigaciones anteriores, lo que garantiza la confiabilidad de los resultados.

3.6. Procesamiento y análisis de datos

Con todos los datos listos, se analizaron los parámetros obtenidos para seleccionar el tipo de biodigestor y la cantidad de paneles fotovoltaicos que se utilizará para fusionarlos en un solo sistema, este sistema estará conectado a las barras colectoras que hacen posible su funcionamiento como un solo sistema. La selección se basó en el costo, el mantenimiento y la durabilidad.

3.7. Matriz de consistencia:

Tabla 9: Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
¿Se podrá generar energía eléctrica suficiente para satisfacer la demanda del Centro Poblado La Valle a partir de la implementación de un sistema híbrido solar fotovoltaico-biogás?	GENERAL	GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DISEÑO DE INVESTIGACION
	Diseñar un sistema híbrido solar fotovoltaico - biogás para producir energía eléctrica que nos permita satisfacer las necesidades eléctricas en el Centro Poblado La Valle – Tumán – Chiclayo – Lambayeque.	Si se realiza el diseño de un sistema híbrido solar fotovoltaico - biogás, entonces se podrá otorgar energía eléctrica a las familias del Centro Poblado La Valle del distrito de Tumán	Diseño de un sistema híbrido solar fotovoltaico - biogás	Tipo aplicada - correlacional
	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	INDICADORES:	TECNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS
	Cuantificar la cantidad de biogás que se puede obtener a partir de los diferentes tipos de estiércol animal que se encuentran en el CC.PP. La Valle - Granja “Hnos. Rojas”.	Si se determina la cantidad de biogás que se puede obtener del estiércol de los diferentes tipos de animales se podrá cuantificar la energía disponible para la generación de electricidad en la zona.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Radiación Solar Horizontal ✓ Tensión de entrada y salida ✓ Poder calorífico ✓ Cantidad de Estiércol ✓ Eficiencia de biogás 	En este proyecto de investigación se usará la recolección de datos climatológicos a través del programa RETScreen e investigaciones de otros autores.
	Determinar la demanda de energía eléctrica de las viviendas del CC.PP. La Valle.	Si se determina la demanda de potencia eléctrica requerida por las diferentes familias del CC.PP. La Valle, se podrá dimensionar diferentes parámetros del biodigestor (tipo, capacidad, etc.) y el sistema fotovoltaico, para poder satisfacer las necesidades de los pobladores.	VARIABLE DEPENDIENTE	POBLACION Y MUESTRA
	Calcular y seleccionar los componentes del sistema híbrido solar fotovoltaico – biogás para generación eléctrica en el CC. PP. La Valle – Tumán.	Si se logra diseñar el sistema híbrido solar fotovoltaico - biogás mediante la matriz ponderada, se podrá generar energía eléctrica para beneficiar a las familias del CC.PP. La Valle del distrito de Tumán.	Demanda energética	Sistema híbrido solar fotovoltaico-biogás.
Realizar la evaluación económica del sistema propuesto, utilizando los indicadores económicos TIR, VAN, B/C.	Si se evalúa económicamente el proyecto con los indicadores TIR, VAN y B/C determinaremos la viabilidad de nuestro proyecto.	INDICADORES: Potencia		

4. RESULTADOS

4.1. Determinación de la cantidad de biogás que se puede obtener a partir de los diferentes tipos de estiércol animal que se encuentran en la zona apoyándose de la granja “Hnos. Rojas”.

En el CC.PP. La Valle se encuentran 2 tipos de animales (Toretos y Cuyes) de los cuales se puede aprovechar su materia fecal para la generación de energía a través del biogás.

Tabla 10: Cantidad de animales presente en el CC.PP.

Tipo de animal	Cantidad de animales
Torete	3
Cuy	200

Fuente: Propia

Además, nos apoyaremos con los residuos fecales de una granja cercana a la localidad, la granja porcina “Hnos. Rojas”.

Tabla 11: Cantidad de animales presente en la granja porcina “Hnos. Rojas”

Tipo de animal	Cantidad de animales
Chancha Madre	12
Chanchos Pequeños	30

Fuente: Propia

Tabla 12: Materia Fecal generada por los animales presentes en el CC.PP.

Tipo de animales	Cantidad de excretas c/u	Cantidad de excretas total
Torete	10 kg	30 kg
Cuy	0,12 kg	24 kg

Fuente: Propia

Tabla 13: Materia Fecal generada por los animales presentes en la granja.

Tipo de animales	Cantidad de excretas c/u	Cantidad de excretas total
Chancha Madre	8 kg	96 kg
Chanchos Pequeños	0,6 kg	18 kg

Fuente: Propia

Para determinar la densidad de la mezcla que ingresará al biodigestor, nos apoyaremos de [23], donde diseñó un prototipo de biodigestor pequeño, donde obtuvo:

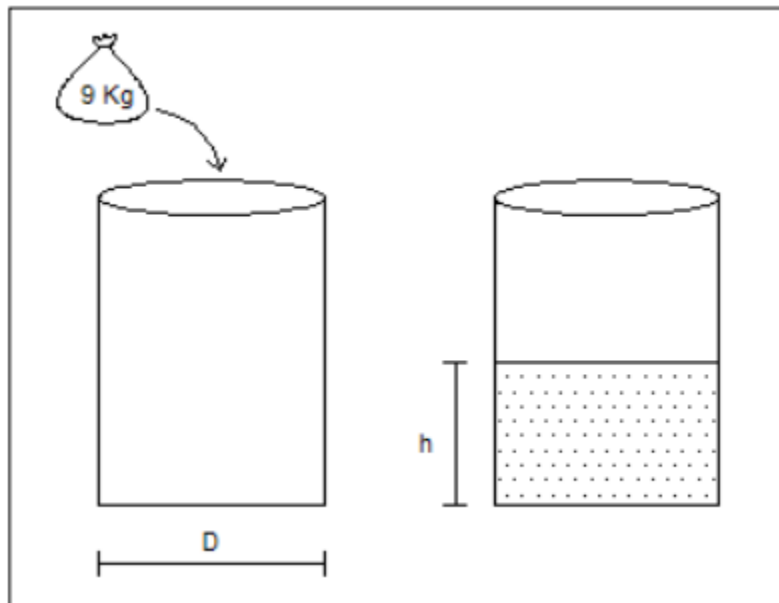


Imagen 12: Modelo para el cálculo de densidad

Fuente: Edwin Toala, 2013

Obtuvo valores tales como la altura “h” igual a 0,24m que alcanzan los 9kg de estiércol en un balde cilíndrico de 0,22m de diámetro. Posteriormente aplica:

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi * 0,11m^2 * 0,24m$$

$$V = 9,123 \times 10^{-3} m^3$$

A partir del volumen obtenido, se aplica la fórmula básica de la densidad de un fluido:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

$$\rho = \frac{9 \text{ kg}}{9,123 \times 10^{-3} m^3}$$

$$\rho = 986,49 \frac{\text{kg}}{m^3}$$

La densidad del estiércol corresponde a $986,49 \text{ kg/m}^3$ que es un valor aproximado a la densidad del agua que es $1\,000 \text{ kg/m}^3$. Por lo tanto, se utilizará el valor de la densidad del agua.

4.1.1. Cálculo de generación de biogás a partir del estiércol vacuno.

Para poder cuantificar la cantidad de biogás generado por los toretes en el CC.PP. La Valle, se realizarán las siguientes formulas obtenidas de [23].

4.1.1.1. Cálculo de la generación de estiércol vacuno diario

Para realizar el cálculo de la generación de estiércol que se produce diariamente en la zona, se toma en cuenta el número de toretes (3 cabezas de ganado), adicionalmente y se procede a efectuar la operación.

$$E_{Tc} = E_{pT} * \#V_c$$

$$E_{Tc} = \frac{10\text{kg}}{\text{Torete}} * 3 \text{ Toretes}$$

$$E_{Tc} = 30 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

4.1.1.2. Volumen de estiércol disponible

El volumen disponible de estiércol se refiere a la cantidad de excretas que puedan ser utilizadas, que dependerá de la cantidad de estiércol producida por las cabezas de ganado presentes en la zona, en este caso serían 3 toretes.

$$V_{ED} = \frac{E_{Tc}}{\rho}$$

Donde:

- V_{ED} = Volumen de Estiércol disponible.
- E_{Tc} = Cantidad total de estiércol generado en un día.
- ρ = Densidad.

$$V_{ED} = \frac{E_{Tc}}{\rho}$$

$$V_{ED} = \frac{30 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{1\,000 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{ED} = 0,03 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 30 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Al tener una relación de sustrato de 1:3, este volumen de estiércol se deberá mezclar con agua:

$$V_{\text{STorete}} = V_{\text{ED}} + 3 * V_{\text{ED}}$$

$$V_{\text{STorete}} = 30 \frac{\text{L}}{\text{día}} + 3 * 30 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$V_{\text{STorete}} = 120 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Una vez teniendo todos los datos, procederemos a aplicar las fórmulas anteriormente mencionadas.

$$30 \frac{\text{kg de EF}}{\text{día}} * \frac{0,20 \text{ ST}}{1 \text{kg de EF}} * \frac{0,20 \text{m}^3 \text{biogas}}{1 \text{kg de ST}} = 1,2 \frac{\text{m}^3 \text{biogas}}{\text{día}} = 1200 \text{L} \frac{\text{biogas}}{\text{día}}$$

Aproximadamente por cada kg de estiércol fresco que ingresa al biodigestor, se genera $0,04 \text{m}^3$ de biogás. Este valor se aproxima bastante al que nos ofrece [29] que es de $0,036 \text{m}^3$ de biogás, y también al de [22] $0,036 \text{m}^3$ de biogás. Donde podríamos indicar que varía en su resultado por el porcentaje de solidos totales que utilizamos, que es de 20%, y en las otras investigaciones como lo es [22] utiliza el valor de 17%.

4.1.2. Cálculo de generación de biogás a partir del estiércol de cuy.

4.1.2.1. Cálculo de la generación de estiércol rumiante diario

Para calcular la cantidad de estiércol que se produce diariamente en el CC.PP. tomaremos el número de cuyes (200 cuyes) y procederemos a efectuar la operación:

$$E_{Tc} = E_{pT} * \#V_c$$

$$E_{Tc} = \frac{0,12\text{kg}}{\text{Cuy}} * 200 \text{ cuyes}$$

$$E_{Tc} = 24 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

4.1.2.2. Volumen de estiércol disponible

El volumen disponible de estiércol se refiere a la cantidad de excretas que puedan ser utilizadas, que dependerá de la cantidad de estiércol producida por los cuyes presentes en la zona, en este caso serían 200 cuyes.

$$V_{ED} = \frac{E_{Tc}}{\rho}$$

$$V_{ED} = \frac{24 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{1\ 000 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{ED} = 0,024 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 24 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Al tener una relación de sustrato de 1:3, este volumen de estiércol se deberá mezclar con agua:

$$V_{SCuy} = V_{ED} + 3 * V_{ED}$$

$$V_{SCuy} = 24 \frac{\text{L}}{\text{día}} + 3 * 24 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$V_{SCuy} = 96 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Teniendo así el volumen de estiércol disponible de los cuyes de la zona, aplicaremos la relación de la investigación [30], donde nos dice:

$$1\text{kg de estiércol de cuy} \rightarrow 0,03 \text{ m}^3$$

$$24 \text{ kg de estiércol de cuy} \rightarrow x$$

Obteniendo la siguiente relación:

$$x = \frac{24 \text{ kg} * 0,03\text{m}^3}{1 \text{ kg}}$$

$$x = 0,72 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Resultando así que la producción de biogás al día por el estiércol generado de los cuyes es de $0,72 \text{ m}^3/\text{día}$.

4.1.3. Cálculo de generación de biogás a partir del estiércol porcino.

Para poder calcular la cantidad de biogás generado por los cerdos en la granja “Hnos. Rojas”, se realizarán las siguientes formulas obtenidas de [23].

4.1.3.1. Cálculo de la generación de estiércol porcino diario

La granja porcina “Hnos. Rojas” cuenta con cerdos de 1, 2, 3, 4 y 5 meses de edad con pesos de 15 kg, 25 kg, 40 kg, 50 kg, 70 kg respectivamente, y cerdas madre de 200 kg de peso y una edad de 2 años cada una. Para realizar el cálculo de la generación de estiércol que se produce diariamente en la granja, se toma en cuenta el número de cerdos y se procede a efectuar la tabla 14, para después utilizar estos datos, en nuestros cálculos.

Tabla 14: Cantidad de estiércol en un año de estudio

Cantidad de estiércol en un año								
Meses	Tipos de cerdos presentes en la granja							
	Madrillas	Nacidos	Pequeños			Lechones		Total:
			De 1 mes	De 2 meses	De 3 meses	De 4 meses	De 5 meses	
Enero	96	20		40				156
Febrero	96		40					136
Marzo	96			40				136
Abril	96				64			160
Mayo	96					80		176
Junio	96	20					112	228
Julio	96		40					136
Agosto	96			40				136
Setiembre	96				64			160
Octubre	96					80		176
Noviembre	96	20					112	228
Diciembre	96		40					136

Fuente: Propia

Mediante la tabla obtenida de los datos de la granja, obtenemos que los kilogramos netos de estiércol generado por los cerdos al día, será de:

$$E_{Tc} = 136 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

4.1.3.2. Volumen de estiércol disponible

El volumen disponible de estiércol se refiere a la cantidad de excretas que puedan ser utilizadas, que dependerá de la cantidad de estiércol producida por las cabezas de animales presentes en la zona, en este caso los cerdos.

$$V_{ED} = \frac{E_{Tc}}{\rho}$$

$$V_{ED} = \frac{136 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{1\,000 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{ED} = 0,136 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 136 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

4.1.3.3. Volumen de estiércol de cerdos total:

Al tener una relación de sustrato de 1:3, este volumen de estiércol se deberá mezclar con agua:

$$V_{SCerdo} = V_{ED} + 3 * V_{ED}$$

$$V_{SCerdo} = 136 \frac{\text{L}}{\text{día}} + 3 * 136 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$V_{SCerdo} = 544 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Teniendo así el volumen de estiércol disponible de los cerdos de la granja “Hnos. Rojas”, aplicaremos la relación de la investigación [22], donde nos dice:

1kg de estiercol de cerdo → 51 litros

136 kg de estiercol de cerdo → x litros

Obteniendo la siguiente relación:

$$x = \frac{136 \text{ kg} * 51 \text{ litros}}{1 \text{ kg}}$$

$$x = 6936 \frac{\text{L}}{\text{día}} = 6,936 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Resultando así que la producción de biogás al día por el estiércol generado de los cerdos es de $6,936 \text{ m}^3/\text{día}$. Este resultado es muy aproximado al que nos ofrece [31] el cual es que por cada kg de estiércol porcino genera $0,07 \text{ m}^3$, y al de [19] que nos dice que por cada kg de estiércol porcino se obtiene aproximadamente $0,06 \text{ m}^3$.

4.1.4. Cantidad total de biogás

Una vez teniendo el potencial de biogás generado por cada uno de los tipos de estiércol de los diferentes tipos de animales estudiados, se realiza la suma:

$$\text{PBT} = \text{PBC} + \text{PBT} + \text{PBP}$$

$$\text{PBT} = 0,72 \text{ m}^3 + 1,2 \text{ m}^3 + 6,936 \text{ m}^3$$

$$\text{PBT} = 8,856 \text{ m}^3$$

Entonces obtenemos que la generación total de biogás al día en total para poder ser utilizado será de $8,856 \text{ m}^3/\text{día}$.

4.2. Cálculo de la demanda de energía eléctrica de las viviendas del CC.PP. La Valle.



Imagen 13: Centro Poblado La Valle

Fuente: Google Earth

4.2.1. Ubicación

El Centro Poblado La Valle pertenece al distrito de Tuman, que se encuentra en la provincia de Chiclayo, del departamento de Lambayeque, aproximadamente a 10 minutos del cementerio de Tuman.

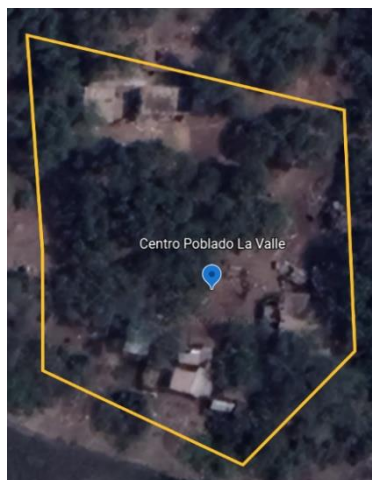


Imagen 14: Vista Ampliada del CC.PP. La Valle

Fuente: Google Earth

4.2.2. Características

- Área: 2 997,35 m²
- Habitantes: 32 Habitantes
- Densidad: 10,68 Habitantes/Km²
- Horario: UTC-5
- Altura Media: 99 m.s.n.m.
- Ubigeo: 140120

4.2.3. Descripción de tipo de Usuario

Para poder calcular la cantidad de consumo eléctrico de las viviendas que conforman el Centro Poblado, se realizará una encuesta a una familia de la zona y, esta será la base para la demanda en total. Esta información estará adjuntada en el (Anexo A). Cada vivienda la conforma aproximadamente de a 4 a 5 integrantes y su consumo eléctrico se basa en los equipos eléctricos con los que cuentan.

Tabla 15: Consumo de Energía Eléctrica

Equipo	Cantidad	Potencia Unitaria (W)	Potencia Total (W)	Horas al día (h)	Energía Diaria (kWh)	Energía Mensual (kWh)	Energía Anual (kWh)
Luminarias	4	20	80	3	0,24	7,2	86,4
Radio	1	10	10	9	0,09	2,7	32,4
Celular	3	10	30	2	0,06	1,8	21,6
Refrigeradora	1	100	100	6	0,6	18	216
Televisión	1	80	80	6	0,48	14,4	172,8
Total	10	220	300	26	1,47	44,1	529,2

Fuente: Propia

Al determinar la información de electricidad de cada hogar, se obtiene que el consumo de electricidad de una casa es de 1,7 kWh y con 300 W de potencia.

Para 10 casas, obtenemos 3,0 kW de potencia instalada total, y la demanda energética de las mismas es de 14,70 kWh.

4.2.4. Cálculo de aumento poblacional.

Al no contarse con los datos suficientes requeridos en el CC.PP. La Valle, se utilizaron los datos del distrito de Tumán, para poder así determinar la tasa de crecimiento poblacional. Datos obtenidos por el Ministerio de Salud del Perú (MINSA).

Tabla 16: Población por año

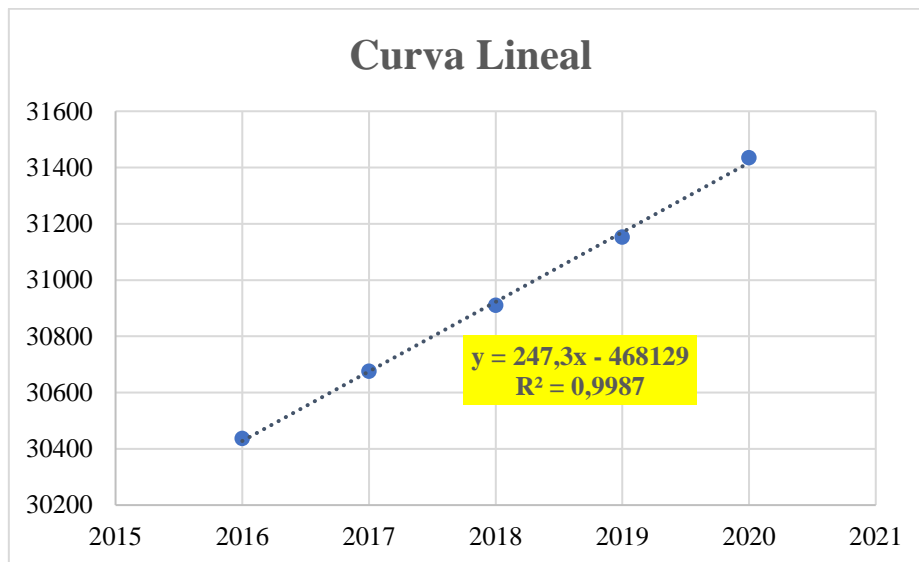
Año	Población
2016	30437
2017	30676
2018	30911
2019	31153
2020	31435

Fuente: MINSA

4.2.5. Cálculo de la tasa de aumento poblacional utilizando tendencias.

4.2.5.1. Comportamiento lineal:

Gráfico 1: Comportamiento Lineal del Aumento Poblacional

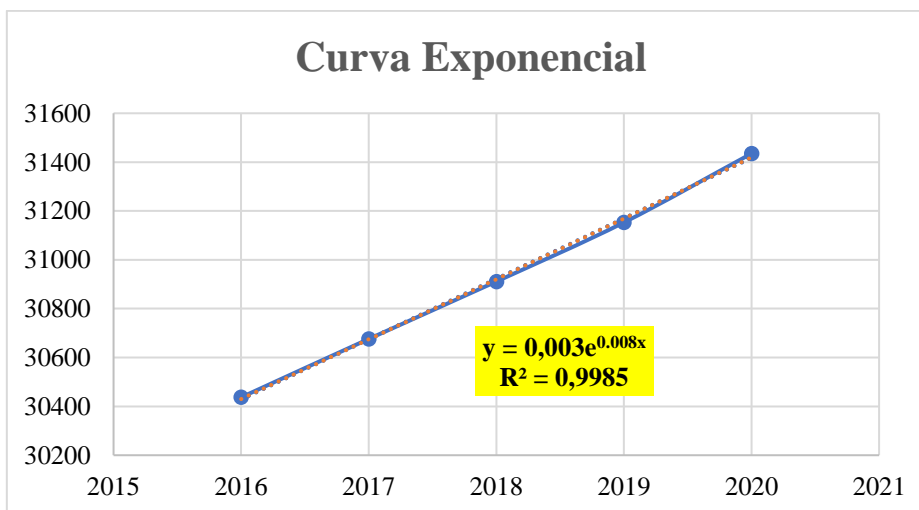


Fuente: Propia

Esta grafica representa el comportamiento lineal de la población de acuerdo al paso de los años, el valor que se obtiene a partir de este comportamiento es de 0,9987.

4.2.5.2. Comportamiento exponencial:

Gráfico 2: Comportamiento Exponencial del Aumento Poblacional

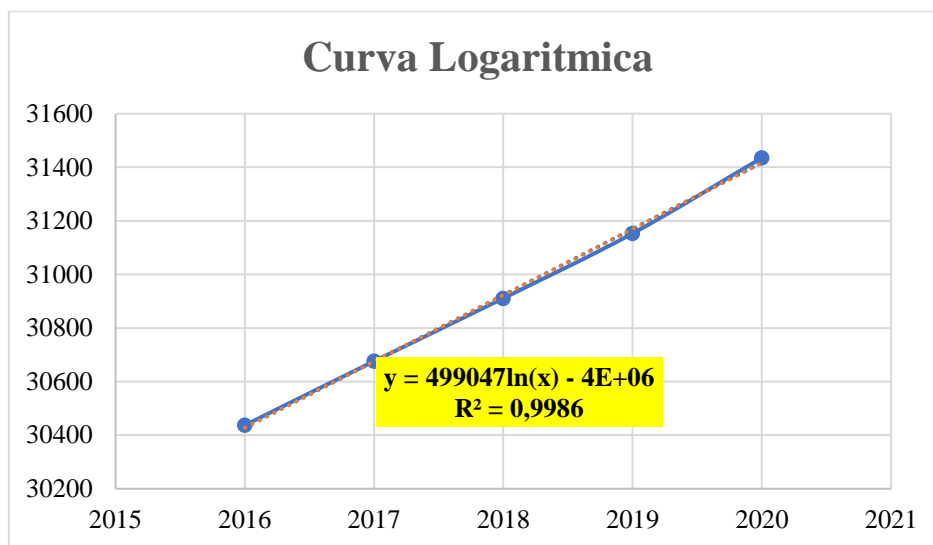


Fuente: Propia

Esta grafica representa el comportamiento lineal de la población de acuerdo al paso de los años, el valor que se obtiene a partir de este comportamiento es de 0,9985.

4.2.5.3. Comportamiento Logarítmico:

Gráfico 3: Comportamiento Logarítmica del Aumento Poblacional

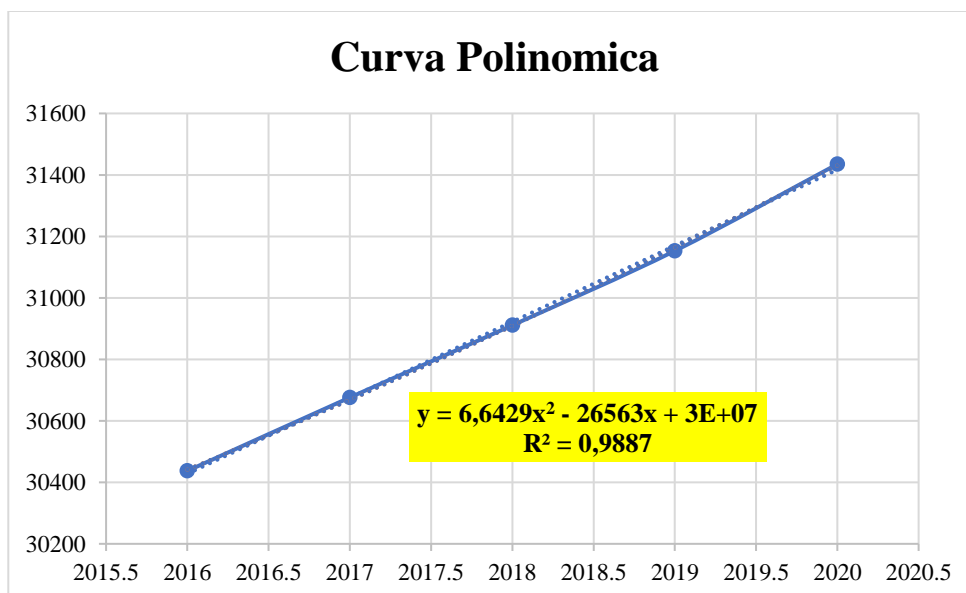


Fuente: Propia

Esta grafica representa el comportamiento lineal de la población de acuerdo al paso de los años, el valor que se obtiene a partir de este comportamiento es de 0,9986.

4.2.5.4. Comportamiento Polinómico:

Gráfico 4: Comportamiento Polinómica del Aumento Poblacional



Fuente: Propia

Esta grafica representa el comportamiento lineal de la población de acuerdo al paso de los años, el valor que se obtiene a partir de este comportamiento es de 0,9987.

Reconociendo que la curva Lineal en su constante “R” tiene el valor más cercano a la unidad, la aceptaremos como nuestra ecuación del aumento poblacional.

$$Y = 247,3X - 468129$$

Con esta ecuación calcularemos la tasa de aumento poblacional y así la población proyectada dentro de los próximos 20 años.

Tabla 17: Crecimiento poblacional del 2016 al 2043

Año	Periodo	Población	Tasa de crecimiento
2016	1	30437	0,785%
2017	2	30676	0,766%
2018	3	30911	0,783%
2019	4	31153	0,905%
2020	5	31435	0,729%
2021	6	31664	0,781%
2022	7	31912	0,775%
2023	8	32159	0,769%
2024	9	32406	0,763%
2025	10	32654	0,757%
2026	11	32901	0,752%
2027	12	33148	0,746%
2028	13	33395	0,741%
2029	14	33643	0,735%
2030	15	33890	0,730%
2031	16	34137	0,724%
2032	17	34385	0,719%
2033	18	34632	0,714%
2034	19	34879	0,709%
2035	20	35127	0,704%
2036	21	35374	0,699%
2037	22	35621	0,694%
2038	23	35868	0,689%
2039	24	36116	0,685%
2040	25	36363	0,680%
2041	26	36610	0,675%
2042	27	36858	0,671%
2043	28	37105	0,666%
Tasa de crecimiento promedio			0,736%

Fuente: Propia

Una vez obtenido los datos de potencia eléctrica demandada anualmente y la tasa de aumento poblacional promedio, se conseguirá la máxima demanda esperada en los 20 años.

4.2.5.5.Tasa de aumento poblacional promedio obtenida:

T.A. % = 0,736 %

$$P_{\max} = P_0 * (1 + T.A)^{\text{Años}}$$

$$P_{\max} = 3,0 \text{ kW} * \left(1 + \frac{0,736}{100}\right)^{20}$$

$$P_{\max} = 3,473 \text{ kW}$$

Por tanto, en el CC.PP. La Valle la demanda máxima esperada en 20 años será de 3,473 kW y su consumo de energía eléctrica diaria para las 10 viviendas será de 16,864 kWh.

4.3. Cálculo y selección de los componentes del sistema híbrido solar fotovoltaico – biogás para generación eléctrica en el CC. PP. La Valle – Tumbán.

4.3.1. Evaluación del recurso solar del lugar

Las unidades en las que se obtendrá los valores de radiación de dicha zona se darán en kWh/m². Siendo así esta, la energía emitida por el sol o también llamada radiación electromagnética. Esta radiación solar del lugar se podrá obtener tanto del sitio web del SENAMHI, como del software Demo RETScreen diseñado por la NASA. El lugar de estudio se muestra en la imagen 13.

	Unidad	Ubicación de datos meteorológicos	Ubicación de la instalación	Fuente
Latitud		-6.8	-6.7	
Longitud		-79.8	-79.7	
Zona climática		2B - Caliente - Seca		
Elevación	m	30	66	Suelo+NASA
Temperatura de diseño de la calefacción	°C	15.6		Suelo
Temperatura de diseño del aire acondicionado	°C	31.8		Suelo
Amplitud de la temperatura del suelo	°C	16.1		NASA

Imagen 15: Condiciones de referencia del sitio.

Fuente: RETScreen Expert

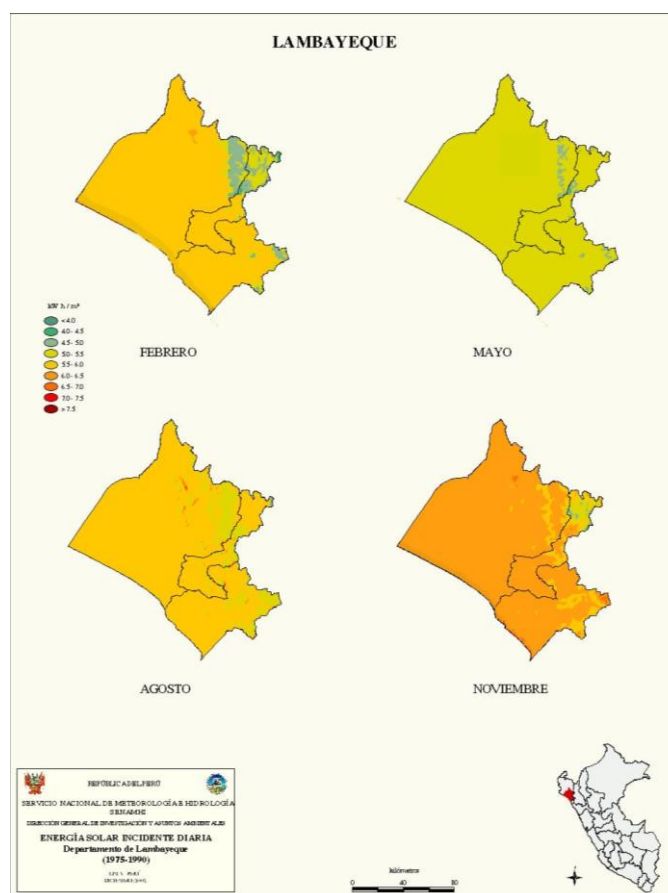


Imagen 16: Irradiación Solar en Lambayeque

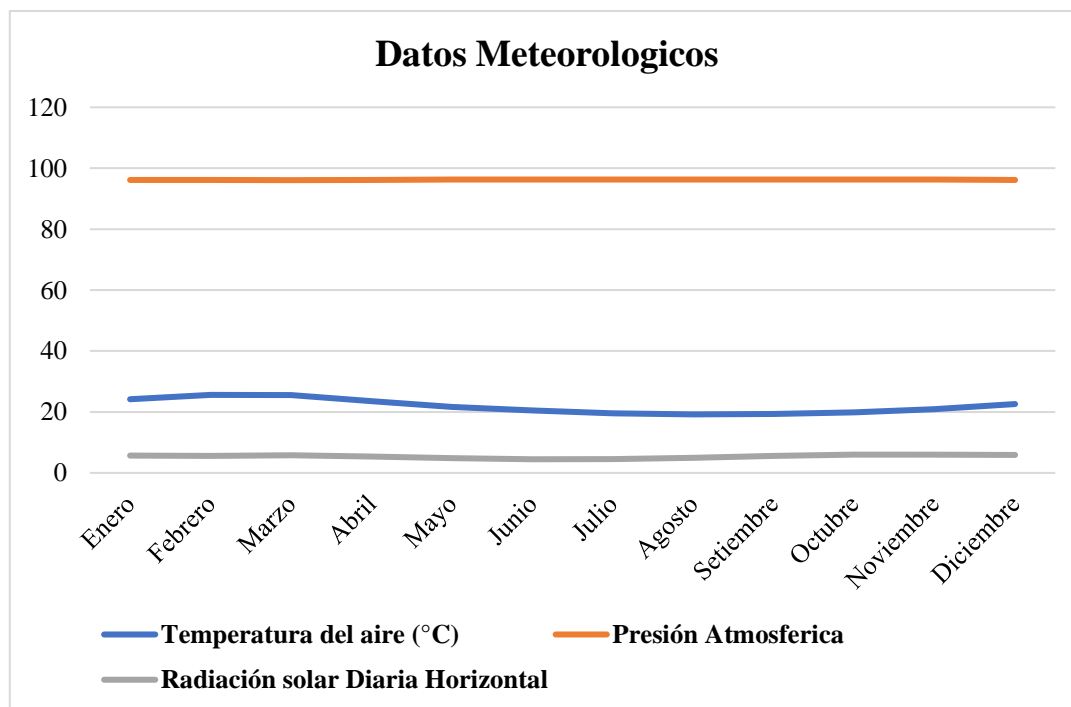
Fuente: SENAMHI

Tabla 18: Datos obtenidos del Software

Mes	Temperatura del aire (°C)	Presión Atmosférica (kPa)	Irradiación solar Diaria Horizontal (kWh/m ² /d)
Enero	24,2	96,2	5,7
Febrero	25,6	96,2	5,55
Marzo	25,5	96,1	5,84
Abril	23,5	96,2	5,38
Mayo	21,7	96,3	4,89
Junio	20,5	96,3	4,47
Julio	19,6	96,3	4,48
Agosto	19,2	96,3	4,91
Setiembre	19,3	96,3	5,59
Octubre	19,9	96,3	5,95
Noviembre	20,9	96,3	5,98
Diciembre	22,6	96,3	5,86
Prom. Anual	21,88	96,25	5,38

Fuente: RETScreen Expert

Gráfico 5: Comportamiento de las variables



Los datos obtenidos del software se muestran en la tabla 15. De los cuales resaltamos la radiación solar promedio al día, donde se obtuvieron:

- Radiación Solar máxima al día: 5,98 kWh/m²/día.
- Radiación Solar mínima al día: 4,47 kWh/m²/día.
- Radiación Solar promedio al día: 5,38 kWh/m²/día.

Para el estudio se tomará la radiación solar promedio, que tiene un valor de 5,38 kWh/m²/día.

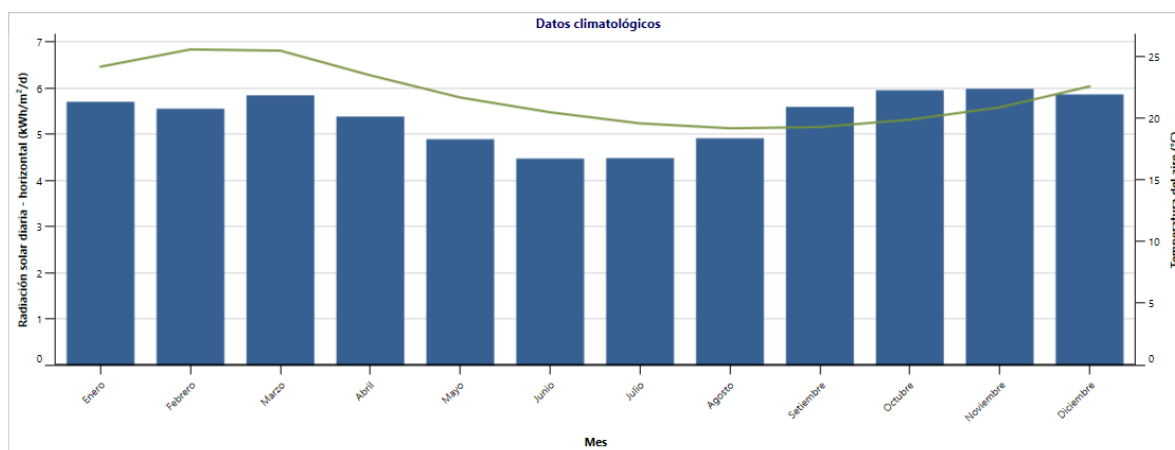


Imagen 17: Grafico de barras de datos climatológicos

Fuente: RETScreen Expert

4.3.2. Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico

Como anteriormente determinamos la demanda del CC.PP. La Valle proyectada a 20 años, tenemos que esta es de 3,441 kW y su consumo de energía eléctrica diaria será de 16,864 kWh. Pero conociendo la cantidad de biogás obtenido en la localidad, que es en gran cantidad, podemos suponer que el biodigestor tendrá una alta generación de energía eléctrica. Por lo tanto, lo que esperaremos con este sistema fotovoltaico es generar del 20 al 30% de la demanda total, que será de 830 W con un consumo de energía eléctrica de 4,011 kWh.

4.3.2.1. Paneles fotovoltaicos:

Con los datos obtenidos del SENAMHI y del Software REETSscreen, que se encuentran en la Tabla 15, donde conocemos los valores de irradiación media horizontal promedio de cada mes.

Para el cálculo de los paneles fotovoltaicos se selecciona el mínimo valor de radiación.

Cantidad de horas de sol pico.

$$\text{HSP} = \frac{\text{Radiación solar global media}}{\text{Valor de la potencia de la irradiancia en condiciones medias}}$$

$$\text{HSP} = \frac{4470 \text{ Wh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2}$$

$$\text{HSP} = 4,47 \text{ horas.}$$

Las horas sol pico para el dimensionamiento de nuestro sistema será de, 4,47 horas.

Cantidad de paneles fotovoltaicos (Np)

La energía que buscamos generar es de 3 367Wh, la potencia de los paneles fotovoltaicos a utilizar es de 100 W con una tensión de 12 V. (Anexo A)

$$N_p = \frac{E}{0,9 * W_p * \text{HSP}}$$

$$N_p = \frac{4\ 011 \text{ Wh}}{0,9 * 100 \text{ W} * 4,47 \text{ h}}$$

$$N_p = 9,97 \cong 10$$

Se utilizarán 10 paneles fotovoltaicos para el diseño de nuestro sistema.

Cantidad de baterías (Nb)

El ciclo de baterías en un sistema fotovoltaico es lento y difícil. Por tanto, dimensionaremos con un valor de 20 horas de descarga y un número de ciclos de 50 profundidades de descarga. Lo principal es corroborar que la potencia de salida sea mayor a la demanda en los meses más bajos de generación.

Al tener una gran generación por parte del sistema de biodigestor, nuestras baterías en el sistema fotovoltaico estarán dimensionadas para tener solo 2 días de autonomía (N). Por lo tanto, la capacidad de estas baterías se calcula siguiendo el criterio de:

$$C = \frac{E * (N)}{(Pd) * \text{Voltaje de batería}}$$

Para esto, se seleccionó una batería de 103 A de la marca Bosch. Sabiendo también que la máxima descarga permitida será del 80% de su capacidad. (Anexo B)

$$C = \frac{4011 \text{ Wh} * 2 \text{ día}}{0,8 * 24} = 417,81 \text{ Ah}$$

El uso de baterías será aproximadamente de 20 horas. Si es así se utiliza un factor igual a 1,25.

$$\frac{C100}{103} = 1,25$$

$$C100 = 128,75 \text{ Ah}$$

El número de baterías será:

$$Nb = \frac{417,81}{128,75} = 3,24$$

Por lo tanto, podemos concluir con la utilización de 4 baterías.

Controlador o regulador de carga

Los paneles fotovoltaicos de nuestro sistema estarán distribuidos en 1 grupo de 10 paneles, donde su conexión será de 2 paneles en serie, y posteriormente a esto, 5 en paralelo. Se utilizará un factor de 1,25 para precaver el aumento de tensiones e intensidades que se pueden suministrar de los paneles.

$$ISF = \frac{Np * I_{sc} \text{ del panel fotovoltaico} * 1,25}{Np \text{ serie}}$$

$$ISF = \frac{10 * 5,89 \text{ A} * 1,25}{2} = 36,81 \text{ A}$$

Una vez teniendo la capacidad del regulador, escogeremos el más adecuado que es el regulador de la marca Must, modelo PC1500B-30-40, de 40 A de capacidad. (Anexo C)

Selección del inversor

El inversor nuestro, tiene un factor de demanda del 100%. Tomaremos también, la eficiencia de la mayoría de inversores para poder así dimensionar de manera adecuada, esta eficiencia es del 80%.

$$Cap_{inv} = \frac{820 \text{ W} * 100\%}{80\%}$$

$$Cap_{inv} = 1025 \text{ W}$$

El inversor seleccionado a partir de su potencia requerida tendrá las siguientes características. (Anexo D)

Potencia Nominal: 3000 W

Tensión nominal y frecuencia: 24 V y 60 Hz.

Eficiencia: Onda Sinusoidal pura

4.3.2.2. Sección del conductor

Tendremos en cuenta que en ningún sistema fotovoltaico tiene una eficiencia del 100%, entonces esperaremos reducir estas pérdidas en su mayoría. Estas pérdidas tienen un valor recomendado y un valor admisible. Estos valores se pueden observar en la tabla 7.

Tramo paneles fotovoltaicos – Regulador de carga

$$S(\text{mm}^2) = 4,4 * 10^{-2} * \frac{l * i}{\Delta V}$$

Conociendo la tensión máxima en la salida de los paneles 19 V, al estar conectado en serie con otro panel, su tensión de salida sería de 38 V. Su porcentaje permisible es el 1%. Por lo tanto, este valor de caída de tensión será de 0,38 V.

Conociendo también que el tramo que va a recorrer será de 10 metros y su corriente tiene un valor de 5,43 A. Su sección de conductor será de:

$$S(\text{mm}^2) = 4,4 * 10^{-2} * \frac{10 * (5,43 * 5)}{0,38}$$

$$S(\text{mm}^2) = 31,44 \text{ mm}^2$$

Según la tabla de conductores THW-90 de INDECO, el valor que se aproxima en mm^2 , será un conductor de 35 mm^2 , y en AWG, un conductor de calibre 2, correspondiente a $33,6 \text{ mm}^2$. Con la fórmula de caída de tensión, corroboramos:

$$\Delta V = \frac{4,4 * 10^{-2} * 10 * 5,43 * 5}{33,6} = 0,356 \text{ V}$$

$$\%V = \frac{0,356}{0,77} = 0,46$$

Efectivamente, no se supera el 1% de caída de tensión como valor recomendado, para este tramo. Por lo tanto, el calibre a emplear es el correcto.

Tramo regulador de carga - Acumulador

$$S(\text{mm}^2) = 4,4 * 10^{-2} * \frac{l * i}{\Delta V}$$

Conociendo la tensión máxima de trabajo del regulador que es 45 V. Su porcentaje permisible es el 1%. Por lo tanto, este valor de caída de tensión será de 0,45 V.

Conociendo también que el tramo que va a recorrer será de 8 metros y su corriente tiene un valor de 5,43 A. Su sección de conductor será de:

$$S(\text{mm}^2) = 4,4 * 10^{-2} * \frac{8 * (5,43 * 5)}{0,45}$$

$$S = 21,24 \text{ mm}^2$$

Según la tabla de conductores THW-90 de INDECO, el valor que se aproxima en mm^2 , será un conductor de 25 mm^2 , y en AWG, un conductor de calibre 4, correspondiente a $33,6 \text{ mm}^2$.

Con la fórmula de caída de tensión, corroboramos:

$$\Delta V = \frac{4,4 * 10^{-2} * 8 * 5,43 * 5}{33,6} = 0,284 \text{ V}$$

$$\%V = \frac{0,284}{0,45} = 0,63\%$$

Efectivamente, no se supera el 1% de caída de tensión como valor recomendado, para este tramo. Por lo tanto, el calibre a emplear es el correcto.

Tramo acumulador - Inversor

$$S(\text{mm}^2) = 4,4 * 10^{-2} * \frac{l * i}{\Delta V}$$

Conociendo la tensión máxima en la salida de los paneles 19 V, al estar conectado en serie con otro panel, su tensión de salida sería de 38 V. Su porcentaje permisible es el 1%. Por lo tanto, este valor de caída de tensión será de 0,38 V.

Conociendo también que el tramo que va a recorrer será de 8 metros y su corriente tiene un valor de 5,43 A. Su sección de conductor será de:

$$S(\text{mm}^2) = 4,4 * 10^{-2} * \frac{10 * (5,43 * 5)}{0,38}$$

$$S(\text{mm}^2) = 31,44 \text{ mm}^2$$

Según la tabla de conductores THW-90 de INDECO, el valor que se aproxima en mm^2 , será un conductor de 35 mm^2 , y en AWG, un conductor de calibre 2, correspondiente a 33,6 mm^2 .

Con la fórmula de caída de tensión, corroboramos:

$$\Delta V = \frac{4,4 * 10^{-2} * 10 * 5,43 * 5}{33,6} = 0,356 \text{ V}$$

$$\%V = \frac{0,356}{0,77} = 0,46$$

Efectivamente, no se supera el 1% de caída de tensión como valor recomendado, para este tramo. Por lo tanto, el calibre a emplear es el correcto.

Tramo inversor – Tablero

Al encontrarnos en la sección de corriente alterna (AC), se seleccionará un conductor que soporte una corriente de 35,44 A, los cuales corresponden a una potencia de 3000 W con tensión de trabajo de 220 V. Siendo así, se elegirá un conductor de calibre 12, equivalente a 3,3 mm^2 . (Anexo E)

4.3.2.3. Angulo de inclinación

$$\beta_{\text{opt}} = 3,7 + (0,69 * |-\text{Latitud}|)$$

Por datos del software REETScreen, sabemos que la latitud de la zona es de -6,8. Entonces:

$$\beta_{\text{opt}} = 3,7 + (0,69 * |-6,8|)$$

$$\beta_{\text{opt}} = 8,392^\circ$$

El ángulo de inclinación óptimo es de $8,392^\circ$, pero tomaremos uno de 15° con razón de prever al polvo y a la humedad relativa de la zona.

4.3.2.1. Materiales a utilizar para la construcción

Tabla 19: Materiales para sistema fotovoltaico

N°	Materiales	Cantidad
1	Paneles Fotovoltaicos EcoGreen 100 W	10 und.
2	Batería 27 MP S5 Sellada BOSCH	4 und.
3	Regulador PC1500B-30-40 Must	1 und.
4	Inversor PV18-3024 Must	1 und.
5	Barras colectoras	2 und.
6	Conductor de calibre 2 AWG	10 metros
7	Conductor de calibre 4 AWG	8 metros
8	Conductor de calibre 12 AWG	8 metros

Fuente: Propia

4.3.3. Dimensionamiento del Biodigestor

Para obtener el tipo de biodigestor a utilizar, debemos tomar una seguidilla de decisiones la cual se basará principalmente en costo de construcción, complejidad tanto para su mantenimiento y utilización, operación y seguridad.

- Factores de construcción: Este factor estudia si se va a emplear técnicas especializadas o algunos materiales especiales para la construcción que se necesita.
- Factores de mantenimiento: Este factor estudia si se va a necesitar algún tipo de control total o mínimo durante el proceso de funcionamiento.
- Factores de utilización: Este factor estudia si la construcción del biodigestor será de manera experimental, demostrativa y/o productiva.
- Factores de operación: Este factor estudia cuán difícil va a ser el poner en marcha el sistema.
- Factores de seguridad: Este factor determina los problemas que se puedan presentar antes y durante el funcionamiento del biodigestor.
- Factores económicos: Este factor estudia el costo de instalación.

Tabla 20: Biodigestor seleccionado

Factores	Tipo de Biodigestor		
	Biodigestor tipo globo	Biodigestor tipo domo	Biodigestor tipo flotante
Construcción	2	2	3
Mantenimiento	2	3	3
Utilización	3	3	3
Operación	2	3	3
Seguridad	2	3	3
Económicos	2	2	3
Total	13	16	18

Fuente: Propia

Tabla 21: Parámetros

Parámetros	
Alto	3
Regular	2
Bajo	1
Mínimo	0

Fuente: Propia

Con estos cuadros de parámetros a seguir y haciéndole una evaluación a los factores de los diferentes tipos de biodigestor, seleccionamos el biodigestor tipo globo o Taiwán, ya que es el más económico, sencillo y eficiente.

4.3.3.1. Tiempo de retención

Para poder calcular el tiempo de retención se utilizamos los datos de la Tabla 3, de los cuales, al no encontrar la temperatura del lugar, interpolamos:

$$\frac{30 - 20}{30 - 21,88} = \frac{20 - 30}{20 - Tr}$$

$$Tr = 28,12 \cong 28 \text{ días}$$

4.3.3.2. Carga diaria de sustrato al biodigestor (CDS)

$$CDS = V_{STorete} + V_{SCuy} + V_{SCerdo}$$

$$CDS = 120 \frac{\text{Litros}}{\text{día}} + 96 \frac{\text{Litros}}{\text{día}} + 544 \frac{\text{Litros}}{\text{día}}$$

$$CDS = 760 \frac{\text{Litros}}{\text{día}}$$

4.3.3.3. Volumen del biodigestor (VD)

El biodigestor tiene una relación de 70% masa líquida, y un 30% de masa gaseosa.

$$VD = CDS * Tr * 1,25$$

$$VD = 760 \frac{\text{Litros}}{\text{día}} * 28 \text{ días} * 1,3$$

$$VD = 27\,664 \text{ Litros} = 27,664 \text{ m}^3$$

Para el volumen del biodigestor se utilizará un factor de seguridad del 10%, este valor se usó de tal forma que se le adicional volumen total del mismo.

$$VD = 27\,664 \text{ Litros} * 1.10$$

$$VD = 30\,430 \text{ Litros} = 30,43 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, el volumen del biodigestor será de 30,43 m³.

4.3.3.4. Geometría del Biodigestor Anaeróbico

Rollo y Manga tubular

El polietileno tubular se vende en rollos de 30 a 50 metros de largo con anchos que típicamente varían entre 1; 1,25; 1,50; 1,75 y 2 metros. El ancho del rollo equivale a aproximadamente la mitad de la circunferencia total de la biobolsa. En general, este tipo de plástico se utiliza para carpas parasoles, y su método de producción es el mismo. La forma en la que se encuentra en el mercado es la forma tubular. El ancho del rollo determina entonces el diámetro y el radio del bioanalizador, a continuación, se mostrará los valores de ancho que se encuentran en el mercado.

Tabla 22: Valores del polietileno en el mercado

Ancho de rollo (m)	Perímetro de biobolsa (m)	Radio(m)	Diámetro(m)
1	2	0,32	0,64
1,25	2,5	0,40	0,80
1,5	3	0,48	0,95
1,75	3,5	0,56	1,11
2	4	0,64	1,27

Fuente: Propia

Volumen de una manga, sección eficaz y longitud:

Al ser un biodigestor que utilizará el material de polietileno tubular, el cual se amarrará en ambos lados (entrada y salida) de la manga del material plastificado. Y al ser este de forma igual a un cilindro, su volumen es, $VD = \pi * r^2 * L$. Por tanto, al no tener conocimiento de la longitud del biodigestor, utilizamos una sección eficaz para estimar un valor de longitud necesario para el volumen total anteriormente calculado.

$$VD = \pi * r^2 * L$$

Tabla 23: Sección eficaz por ancho de rollo

Ancho de rollo (m)	Sección eficaz ($\pi * r^2$)
1	0,32
1,25	0,50
1,5	0,72
1,75	0,97
2	1,27

Fuente: Propia

La longitud del biodigestor la hallamos si despejamos L:

$$L = \frac{VD}{\pi * r^2}$$

Tabla 24: Longitud de acuerdo a su sección eficaz

Ancho de rollo (m)	Sección eficaz ($\pi * r^2$)	Longitud
1	0,32	VD/0,32
1,25	0,50	VD/0,50
1,5	0,72	VD/0,72
1,75	0,97	VD/0,97
2	1,27	VD/1,27

Fuente: Propia

Relación entre el diámetro y longitud del biodigestor anaeróbico

Para poder dimensionar de manera correcta se necesita una relación adecuada entre el diámetro del biodigestor y la longitud del mismo, ya que no se quiere un biodigestor demasiado largo ni mucho menos uno que no tenga concordancia. Para esto, existe una relación óptima de 5 a 10, donde 7 es lo ideal para el sistema.

Tabla 25: Longitud adecuada

Ancho de rollo (m)	Radio(m)	Sección eficaz ($\pi*r^2$)	Longitud (m)
1	0,32	0,32	95,09
1,25	0,40	0,50	60,86
1,5	0,48	0,72	42,26
1,75	0,56	0,97	31,37
2	0,64	1,27	23,96

Fuente: Propia

Dimensionamiento de la zanja para su instalación.

En la investigación de [13], se obtiene una relación entre el ancho del rollo y las dimensiones que tendrá la zanja.

Tabla 26: Dimensiones de la zanja

Ancho de rollo (m)	1	1,25	1,5	1,75	2
A	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
B	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
C	0,6	0,7	0,8	0,9	1

Fuente: Propia

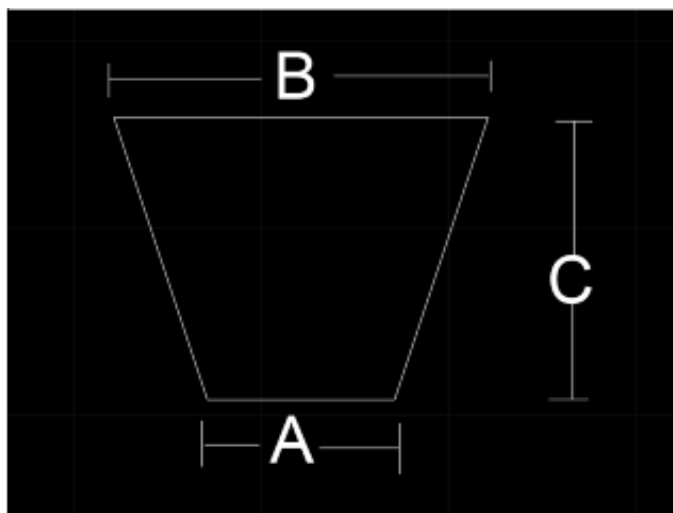


Ilustración 1: Sección transversal de la zanja

Fuente: Propia

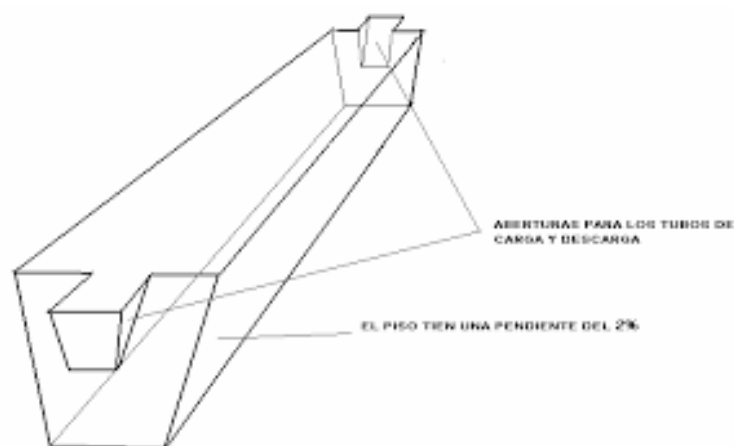


Ilustración 2: Dimensionamiento de la Zanja

Fuente: Propia

Nuestro biodigestor tiene un volumen de 30.43 m^3 , su diseño cuenta con 31,37 metros de largo, 1,11 metros de diámetro. Para este biodigestor se seleccionó un ancho de rollo de 1,75 metros para el plástico tubular. La zanja tendrá las medidas tales que de ancho superior será de 0,8 metros, de altura 0,9 metros y 0,6 metros de ancho de base.

4.3.3.5. Construcción del Biodigestor Anaeróbico

Excavación de la Zanja

Como primer paso, tenemos que cavar una zanja del tamaño mencionado anteriormente, este espacio debe tener una superficie ideal para colocar la resina que se utilizará para nuestro dispositivo biológico, luego debe colocar una capa protectora sobre el con tres contactos para evitar roturas en el biodigestor que provoquen pérdidas y baja eficiencia del sistema.

Preparación de la biobolsa

El tipo de plástico que se utilizará para el bioanalizador también se utiliza en carpas solares que son resistentes al sol, complicando la fragilidad que se puede presentar al exponerse al contacto con superficies no lisas, para así asegurar la autonomía del bioensayo es una resina colocada dentro de otra, creando un bioanalizador con una doble capa y más seguro que tener una sola clase. Para este proceso se necesita una pequeña persona, lo más ligera posible, para unir las dos resinas sin romper ninguna y también debe asegurarse de que las dos resinas estén alineadas para evitar que se tuerzan dentro de la bolsa plastificada.

Diseño del tubo del biogás saliente

Luego del paso anterior se le hará un ½" orificio en el mismo colocando una rosca macho de perforación, la persona dentro del biodispositivo debe colocar un anillo de sellado y junta de goma para que apriete hacia adentro y sea una junta hermética. Por último, él se encuentra en la parte exterior de un adaptador hembra colocado para no permitir fugas de gas, en este adaptador hembra luego se pega una manguera de ½" con un codo.

Instauración de los tubos de carga y tubos de descarga

Cortaremos dos tubos de PVC con un diámetro de 6" y una longitud de 1m, el procederemos a ponerle dos extremos de goma para sellar el en el tubo, los dos lados del tubo deben tener un sumidero. en los residuos que el llena hasta la mitad de la bolsa para actuar como sello y evitar fugas de gas.

Instalación de la bolsa de fosa

Se recomienda que una persona entre en la bolsa y mueva con cuidado y dé forma a la resina hasta el lugar de instalación, luego llénela con agua hasta que la bolsa encaje en su lugar y se forme dentro del hoyo, evitando cualquier pliegue debajo ya que a partir de la no ser capaz de revertirlo

Adicionamiento de piletas de entrada y salida del sustrato.

Se construirán dos tanques en cada extremo del biorreactor para facilitar el llenado de la mezcla o la recepción de residuos después de la conversión, que pueden utilizarse como fertilizante. Estos tanques se utilizan para recibir dos tuberías, con la diferencia de que la cubeta en la zona de evacuación debe tener un nivel más bajo que la cubeta de entrada para facilitar el flujo de la mezcla.

Accesorios para filtrar

Filtro de sulfuro de hidrógeno, este se compone por un tubo de PVC de 3" e Y, junto con una serie de reductores en ambos lados. Al interior del tubo hay esponjas de acero, y/o esponjas "bombril" que sostienen el sulfuro de hidrógeno que se encuentra en el biogás eliminando hedor.

Punto Bajo, en el biogás, hay un porcentaje de agua que se evapora durante el proceso de metanización y condensación dentro de la tubería, esta cantidad de agua puede ser suficiente para obstruir la red, por lo cual se debe instalar un tapón roscado debajo de una parte. de la tubería donde se acumula el agua para que pueda ser eliminada y así el evite los atascos.

Accesorios para monitoreo.

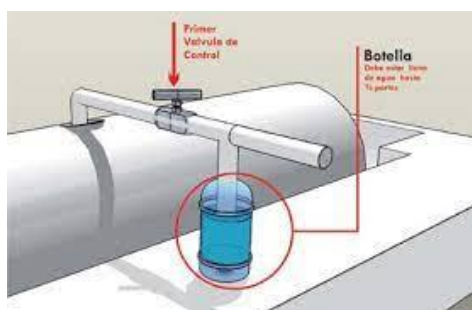
Es necesario un manómetro, para poder calcular el total de biogás que podemos generar, también para obtener datos de presión precisos que permitan calcular a futuro la producción de biogás.

Accesorios para comprobar

Válvula de bola, las utilizamos para regular el flujo de biogás. Hay dos en la red, la primera es a la salida de la bolsa y la segunda posterior al punto bajo. Estos son lugares estratégicos para bloquear el paso del biogás en caso de modificación o mantenimiento del en el resto de la red.

Válvula de seguridad, dentro del biorreactor, se genera continuamente gas, por lo que la presión dentro del aumenta. Si la presión del biogás supera la presión máxima que puede soportar la bolsa, explotará. Por eso es necesaria la válvula de seguridad

Imagen 18: Válvula de seguridad



Fuente: Propia

4.3.3.6.Consideraciones de Seguridad.

En un dispositivo biomecánico se debe verificar que su funcionamiento y la interacción que tienen las personas con él sea segura. Para ello, se han desarrollado y planificado una serie de medidas de seguridad, a saber:

Funcionamiento

Las bolsas no deben entrar en contacto directo con un elemento afilado que pueda causar grietas en la resina. Para ello, se han propuesto una serie de recubrimientos para proporcionar una superficie de contacto suave entre la ranura y la bolsa.

La calefacción tendrá que proteger el tanque biológico de la lluvia y asegurar que la temperatura de funcionamiento sea superior a la temperatura ambiental estándar. Muy aparte, se debe asegurarse de que no haya fugas de agua dentro del biotanco porque esto puede causar inundaciones y debe estar cerrado para evitar la pérdida de calor.

Los tanques biológicos deben estar cercados así evitando que los animales (cabras, toros, gallinas, etc.) dañen el sistema.

El sulfuro de hidrógeno con la humedad del biogás se filtrará a través de esta red de transporte.

En cuanto a la interacción con las personas.

El biodigestor debe tener espacio suficiente para cargar y descargar cómodamente él. Además, debe tener una puerta que permita la visualización de las actividades del proyecto.

Las personas que cargan biodigestores anaeróbicos deben usar equipo de protección personal para evitar el contacto directo con las heces de los animales de la zona y granja.

Seguridad

Para un diseño efímero se tomarán algunas indicaciones y decisiones:

- Se colocan tres cubiertas entre la zanja y la bolsa: arena fina, plástico tipo parcela y geotextil.
- Se procederá a la construcción de un canal para drenar el agua de lluvia.
- Se construye una valla alrededor del biofermentador con alambre de madera y alambre de gallinero.
- Se fabrica la válvula de seguridad en la columna de agua.
- Se fabrica un filtro de sulfuro de hidrógeno.
- Los tanques tanto de salida y de entrada, tendrán tapa.

- El responsable de la carga debe contar con el siguiente equipo de protección personal: guantes de goma, respirador con filtro, overol y botas

4.3.3.7. Materiales que se utilizarán en la construcción

Tabla 27: Listado de Materiales

Nº	Materiales	Cantidad
1	Plástico Tubular 1,75 x 31 m	1
2	Tubo de PVC 9" x 1 m	1
3	Válvula de control	1
4	Filtro para eliminar sulfuro de hidrogeno	1
5	Válvula de presión 1	1
6	Adaptador macho PVC 1"	4
7	Adaptador hembra PVC 1"	4
8	Codo 90° PVC 1"	6
9	Tapón liso PVC 1"	1
10	Tubería PVC ½"	2
11	Tubería PVC 1"	2
12	Limpiador de PVC	1
13	Pegamento para PVC	1
14	Tubería galvanizada ½" doble rosa	4
15	Abrazaderas metálicas 1-1/2"	8
16	Llave de paso de bronce ½"	1
17	Arandelas 10 cm	8
18	Ladrillos	4
19	Cemento bolsas	25
20	Arena amarilla	2

Fuente: Propia

Para la construcción del biodigestor se utilizarán herramientas básicas que se enlistan en la tabla 24.

Tabla 28: Listado de Herramientas

LISTADO DE HERRAMIENTAS	
Nombre	Función
Segueta	Cortar
Martillo	Clavar
Pala	Transportar tierra
Barra	Desmoronar tierra
Pica	Desmoronar tierra
Cuña	Quebrar piedras
Cuerda	Delimitar
Carretilla	Transportar tierra
Serrucho	Cortar
Brocha	Recubrir
Pistola mecánica	Sellar
Flexómetro	Medir longitud
Nivel de gota	Nivelar terreno
Llave inglesa	Apretar
Pico	Picar piedra
Grapadora	Sujetar plástico
Lija	Lijar PVC
Tijeras	Cortar
Paño	Limpiar PVC
Destornillador	Atornillar tornillos golosos
Pala pequeña	Dar forma al canal

Fuente: Propia

4.3.4. Diseño del sistema híbrido solar fotovoltaico-biogás.

Para poder hacer posible el funcionamiento de ambos sistemas de generación como un solo conjunto, se utilizarán barras colectoras que harán posible que ambos sistemas entreguen energía eléctrica por una misma línea.

4.3.4.1. Cálculo de las barras colectoras

$$P = V * I * \text{Cos}\phi$$

Despejando la intensidad de corriente, ya que a partir de este valor se diseñará la barra colectora.

$$I = \frac{P}{V * \text{Cos}\phi}$$

Barra colectora para el inversor

Teniendo en cuenta los datos del inversor seleccionado para nuestro sistema, el cual tiene una potencia de 3000 W, una tensión de 220 V y un factor de potencia de 0,9. Se procede:

$$I = \frac{3\ 000}{220 * 0,9} = 15,15\ A$$

La corriente que pasará por esta barra colectora será de 15,15 A.

Barra colectora para el generador.

Teniendo en cuenta los datos del generador seleccionado para nuestro sistema, el cual tiene una potencia de 3500 W, una tensión de 220 V y un factor de potencia de 0,9. Se procede:

$$I = \frac{3\ 500}{220 * 0,9} = 17,65\ A$$

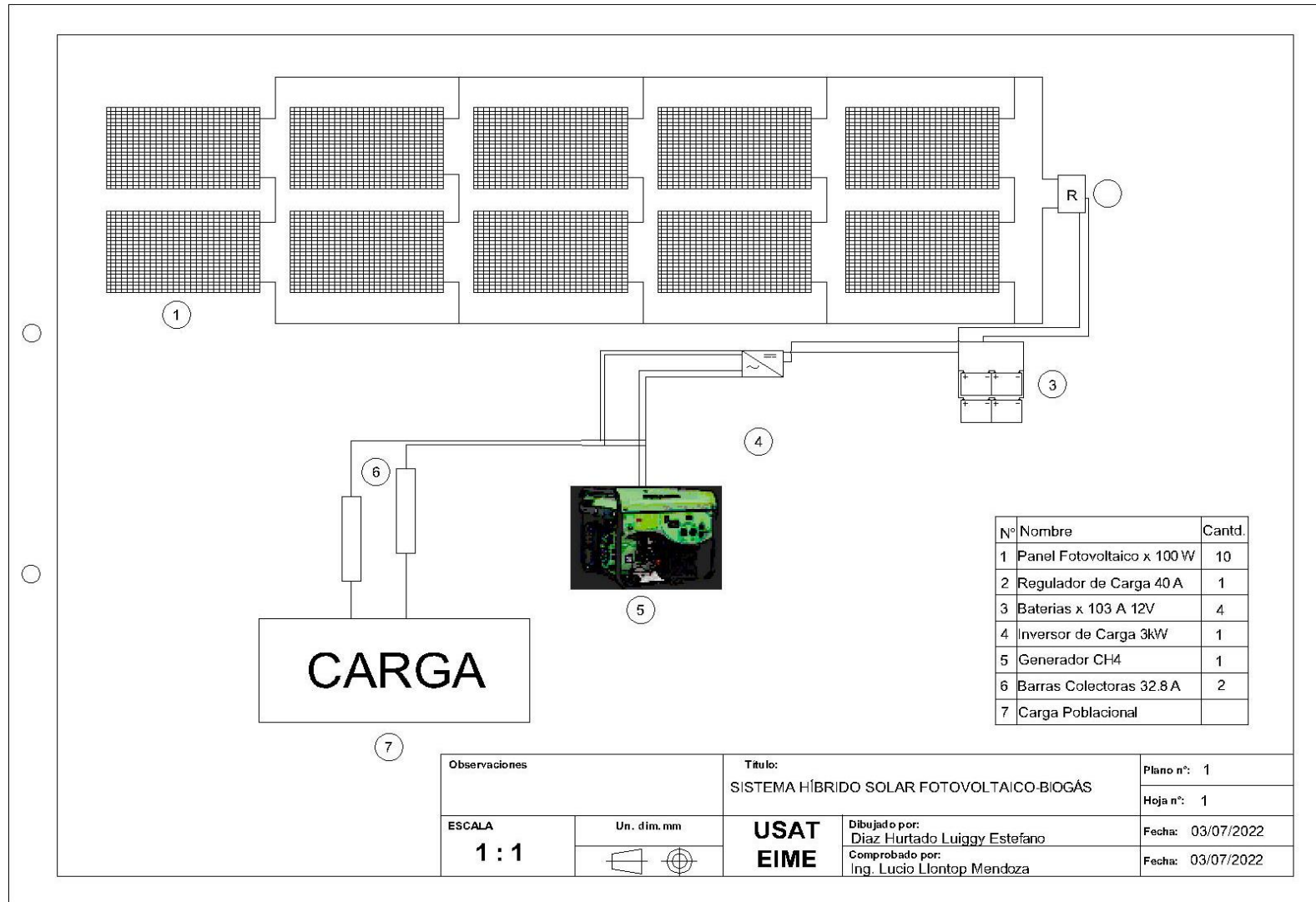
La corriente que pasará por esta barra colectora será de 17,65 A.

Sumando las intensidades de corriente anteriormente encontradas:

$$I = 17,65 + 15,15\ A = 32,80\ A$$

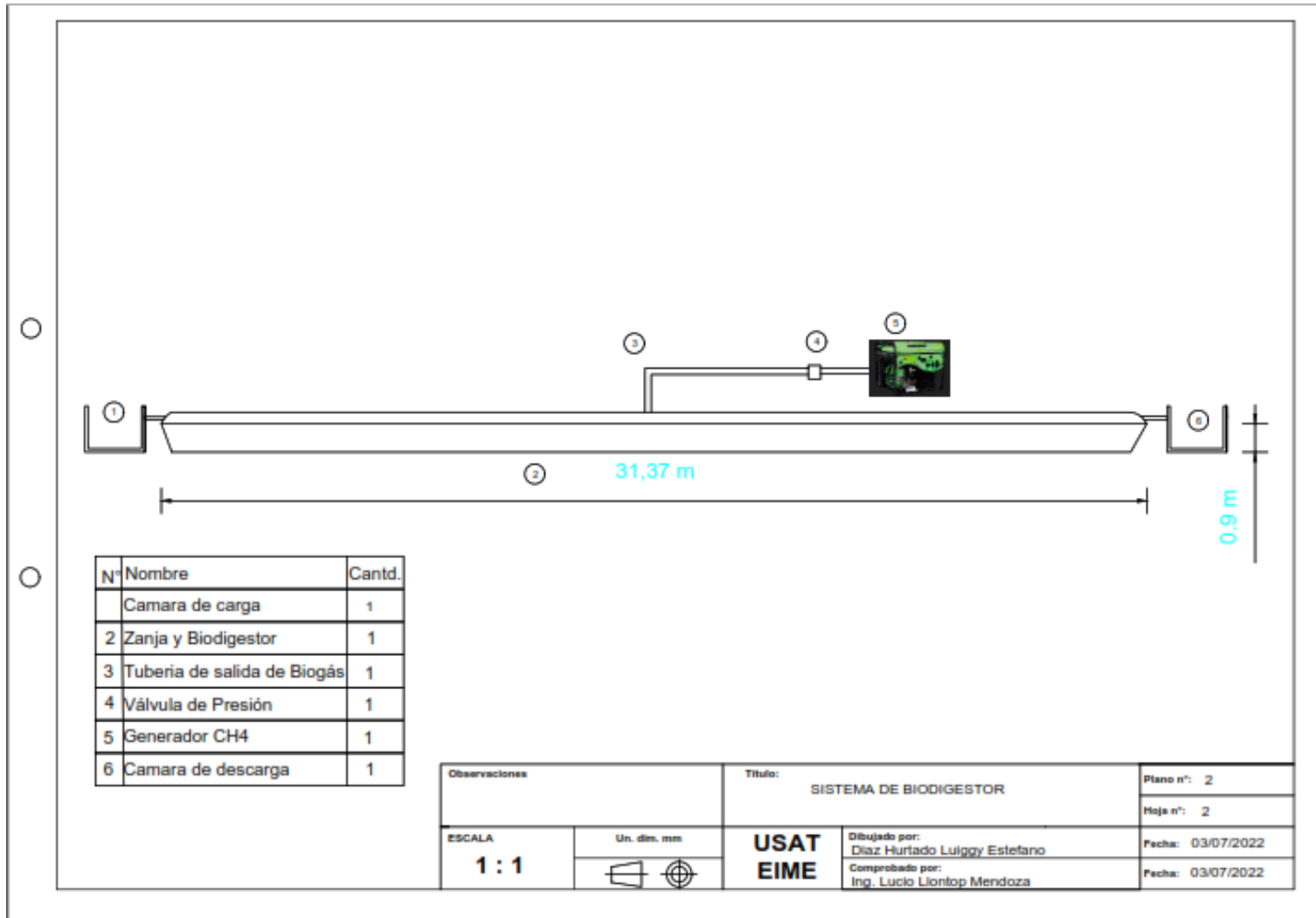
Entonces, debemos seleccionar barras colectoras capaces de soportar una intensidad de corriente de 32,80 A.

Gráfico 6: Diseño del sistema híbrido solar fotovoltaico - biogás



Fuente: Propia

Grafico 07: Diseño del sistema de Biodigestor



Fuente: Propia

4.4. Evaluación técnico económica del sistema propuesto, utilizando los indicadores económicos TIR, VAN, B/C.

Esta evaluación consistirá en hacer un estudio de costos de los equipos y su construcción con el fin de poder determinar si es viable o no, esto a través de los diferentes indicadores económicos.

Para realizar la evaluación económica de nuestro sistema híbrido, se tomaron en cuenta factores que afectaran al sistema durante todo su periodo de vida, factores como: La inversión inicial del proyecto, su vida útil, el precio del kW/h, la tasa de descuento, los costes de operación y el costo de mantenimiento respectivo.

4.4.1. Presupuesto del Sistema de Biodigestor Anaeróbico:

Para el presupuesto del sistema de biodigestor, tomaremos principalmente los costos aproximados de los materiales que se usaran en el proceso de construcción.

Tabla 29: Presupuesto del Biodigestor Anaeróbico

N°	Materiales	Cantidad	Precio (S/)	Importe (S/)
1	Plástico Tubular 1,75 x 31 m	1	S/ 1 100,00	S/ 1 100,00
2	Tubo de PVC 9"x 1 m	1	S/ 55,00	S/ 55,00
3	Válvula de control	1	S/ 30,00	S/ 30,00
4	Filtro para eliminar sulfuro de hidrogeno	1	S/ 200,00	S/ 200,00
5	Válvula de presión 1	1	S/ 300,00	S/ 300,00
6	Adaptador macho PVC 1"	4	S/ 3,00	S/ 12,00
7	Adaptador hembra PVC 1"	4	S/ 3,00	S/ 12,00
8	Codo 90° PVC 1"	6	S/ 5,00	S/ 30,00
9	Tapón liso PVC 1"	1	S/ 3,00	S/ 3,00
10	Tubería PVC ½"	2	S/ 30,00	S/ 60,00
11	Tubería PVC 1"	2	S/ 40,00	S/ 80,00
12	Limpiador de PVC	1	S/ 20,00	S/ 20,00
13	Pegamento para PVC	1	S/ 30,00	S/ 30,00
14	Tubería galvanizada ½" doble rosa	4	S/ 35,00	S/ 140,00
15	Abrazaderas metálicas 1-1/2"	8	S/ 4,00	S/ 32,00
16	Llave de paso de bronce ½"	1	S/ 15,00	S/ 15,00
17	Arandelas 10 cm	8	S/ 1,50	S/ 12,00
18	Ladrillos	450	S/ 0,70	S/ 315,00
19	Cemento bolsas	25	S/ 30,00	S/ 750,00
20	Arena amarilla	2	S/ 150,00	S/ 300,00
21	Otros	1	S/ 1 000,00	S/ 1 000,00
TOTAL		525	S/ 3 055,20	S/ 4 496,00

Fuente: Propia

Posteriormente, los costos de mano de obra y costos de operación:

Tabla 30: Costos de mano de obra y operación

N°	Ítem	Cantidad	Precio (S/)	Importe (S/)
1	Mano de Obra de 3 Obreros x Hora	24	S/ 30,00	S/ 720,00
2	Técnico de Instalación x Hora	12	S/ 150,00	S/ 1 800,00
3	Equipos de seguridad	6	S/ 60,00	S/ 360,00
4	Charlas de concientización x día	1	S/ 100,00	S/ 100,00
5	Ingeniero Supervisor x Hora	4	S/ 300,00	S/ 1 200,00
TOTAL		45	S/ 640,00	S/ 4 210,00

Fuente: Propia

Por lo tanto, nuestro presupuesto para la construcción de nuestro sistema de biodigestor anaeróbico tendrá un costo total de S/ 8 346,00 soles.

4.4.2. Presupuesto del Sistema Fotovoltaico

Para el presupuesto sistema fotovoltaico, tomaremos principalmente los costos aproximados de los materiales que se usaran en el proceso de construcción.

Tabla 31: Presupuesto del Sistema Fotovoltaico

N°	Equipos	Cantidad	Precio (S/)	Importe (S/)
1	Panel Solar 100W 12V Policristalino.	10	S/ 370,00	S/ 3 700,00
2	Bateria 27 MP S5 Sellada.	4	S/ 800,00	S/ 3 200,00
3	Regulador carga solar PC1500B Series.	1	S/ 500,00	S/ 500,00
4	Inversor Cargador 3000W MPPT 80A.	1	S/ 1 924,00	S/ 1 924,00
5	Conductor THW-90 calibre 2 AWG (m)	10	S/ 50,00	S/ 500,00
6	Conductor THW-90 calibre 4 AWG (m)	8	S/ 30,00	S/ 240,00
7	Conductor THW-90 calibre 12 AWG (m)	8	S/ 3,00	S/ 24,00
TOTAL		42	S/ 3 477,00	S/ 10 088,00

Fuente: Propia

Posteriormente, los costos de mano de obra y costos de operación:

Tabla 32: Costos de mano de obra y operación

N°	Ítem	Cantidad	Precio (S/)	Importe (S/)
1	Mano de Obra de un Obrero x Hora	8	S/ 30,00	S/ 240,00
2	Técnico de Instalación x Hora	6	S/ 150,00	S/ 900,00
3	Equipos de seguridad	5	S/ 60,00	S/ 300,00
4	Charlas de concientización x día	1	S/ 100,00	S/ 100,00
5	Ingeniero Supervisor x Hora	4	S/ 300,00	S/ 1 200,00
6	Otros	1	S/ 1 000,00	S/ 1 000,00
TOTAL		25	S/ 1 640,00	S/ 3 740,00

Fuente: Propia

Por lo tanto, nuestro presupuesto para la construcción de nuestro sistema fotovoltaico tendrá un costo total de S/ 13 828,00 soles.

4.4.3. Presupuesto para Generadores Eléctricos e Instalación

Tabla 33: Costos de Generadores Eléctricos e Instalación

N°	Ítem	Cantidad	Precio (S/)	Importe (S/)
1	Generador Eléctrico TY 3,5 kW 400/230V	1	S/ 5 100,00	S/ 5 100,00
2	Mano de Obra	2	S/ 200,00	S/ 400,00
3	Equipos de Protección	1	S/ 100,00	S/ 100,00
4	Otros	1	S/ 400,00	S/ 400,00
TOTAL		5	S/ 5 800,00	S/ 6 000,00

Fuente: Propia

El valor de adquisición de los generadores eléctricos y su instalación, tienen un costo de S/ 6 000,00 soles.

4.4.1. Presupuesto Barras Colectoras e Instalación

Tabla 34: Costos de Barras Colectoras e Instalación

N°	Ítem	Cantidad	Precio (S/)	Importe (S/)
1	Barras colectoras	2	S/ 500,00	S/ 1 000,00
2	Mano de Obra	4	S/ 200,00	S/ 800,00
3	Equipos de Protección	1	S/ 100,00	S/ 100,00
4	Otros	1	S/ 1 000,00	S/ 1 000,00
TOTAL		8	S/ 1 800,00	S/ 2 900,00

Fuente: Propia

El valor de adquisición de las barras colectoras y su instalación, tienen un costo de S/ 2 900,00 soles.

4.4.2. Costo de Inversión Total del Sistema Híbrido Fotovoltaico - Biogás:

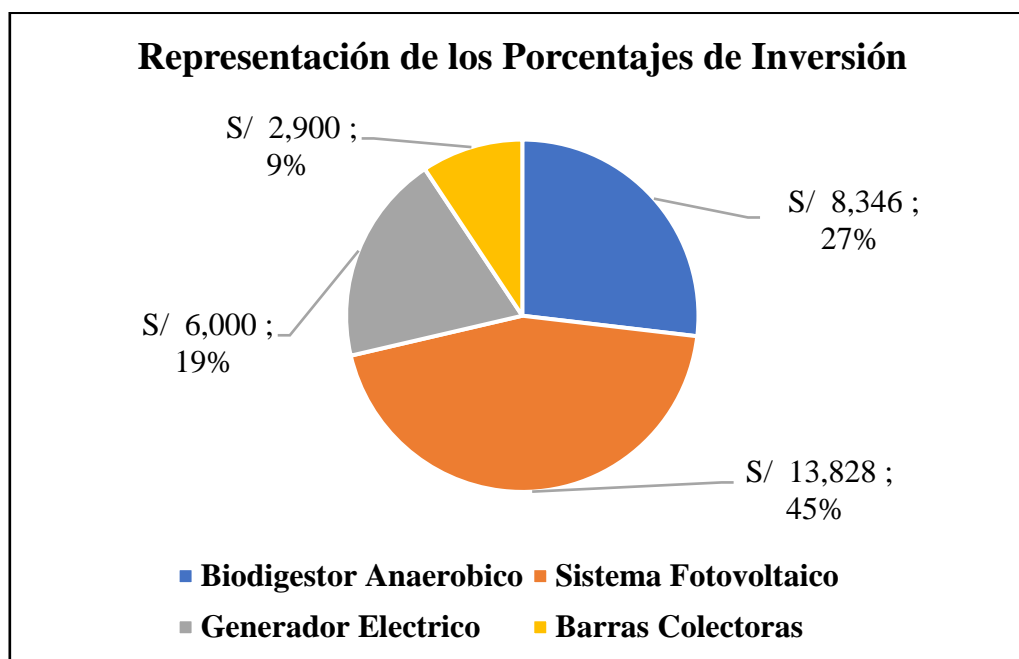
Tabla 35: Tabla de porcentajes de Inversión Total

Inversión	Importe (S/)	Porcentaje (%)
Biodigestor Anaeróbico	S/ 8 346,00	27%
Sistema Fotovoltaico	S/ 13 828,00	45%
Generador Eléctrico	S/ 6 000,00	19%
Barras Colectoras	S/ 2 900,00	9%
TOTAL	S/ 31 074,00	100%

Fuente: Propia

Entonces, el costo total de inversión de nuestro sistema híbrido Fotovoltaico – Biogás, es de S/ 31 074,00 soles

Gráfico 7: Representación de los porcentajes de inversión



Fuente: Propia

En el gráfico 7, se observa que el mayor porcentaje de inversión estará concentrado en el sistema fotovoltaico con un 45%, seguido por el sistema de biodigestor anaeróbico con un 27%, el generador eléctrico se ubica tercero con un 19% y por último las barras colectoras, las cuales tendrán un porcentaje de inversión de un 9%.

4.4.3. Costos de Mantenimiento

Dentro de los costos de inversión que necesita nuestro sistema híbrido, se le dio un valor del 1% de la inversión total del proyecto, anteriormente encontrada.

$$\text{Mantenimiento} = 0,01 \times 31\,074 = \text{S/ } 310,74 \text{ soles}$$

Entonces, el costo de mantenimiento de nuestro sistema híbrido es de S/ 310,74 soles.

4.4.4. Ingresos

Para identificar los ingresos, se ha tomado variables tales como: El ahorro de combustible, el coste del kWh generado y los bonos de carbono.

4.4.4.1. Ahorro de combustible

En el Centro Poblado La Valle, se utiliza un generador a base de combustible, el cual tiene un consumo diario de S/ 20 soles. Al emplear el sistema híbrido fotovoltaico – biogás, se logra obtener un ahorro de S/ 600 soles mensuales y de S/ 7 200 soles anuales.

4.4.4.2. Bonos de Carbono

Los bonos de carbono los ofrece el estado a aquellas empresas privadas que mediante proyectos en los cuales se vea disminuida la emisión de gases contaminantes hacia el ambiente, evitando así, un aumento en el efecto invernadero que posteriormente se ve reflejado en el calentamiento global. Estas emisiones se dan mediante la quema de combustibles fósiles.

El factor de emisión es de 0,385 kg de CO₂ eq/kWh y el beneficio económico que se alcanza es de \$ 27,4 por tonelada. [32]

Tabla 36: Consumo anual en kWh y su conversión a kg CO₂

	Consumo Anual (kWh)	Factor de conversión (kg de CO ₂ eq/kWh)	kg de CO ₂
Energía	5292	0,385	2 037,42

Fuente: Propia

Tabla 37: Conversión de beneficio de dólares a soles

	1000 kg de CO ₂	Cambio de moneda a nuevos soles
Costo x Ton.	\$ 27,40	S/ 4,00
Costo x Ton.	S/ 109,60	

Fuente: Propia

Una vez realizada la conversión, calculamos el beneficio anual:

Tabla 38: Beneficio anual

Ton. de CO ₂	Costo x Ton.	Beneficio
2,03742	S/ 109,60	S/ 223,30

Fuente: Propia

Obteniendo que el beneficio anual del proyecto es de S/ 223,30 soles.

4.4.4.3. Coste por el kWh generado con el sistema híbrido

Para poder calcularlo es necesaria la fórmula donde intervienen todos los factores presentes en la generación de energía eléctrica, estos factores importantes están presentes en el LCOE, factores como la inversión inicial, el descuento por mantenimiento, el coste de operación y la vida útil del sistema. Su fórmula es:

$$\text{LCOE} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{i + (M * t)}{(1 + r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E}{(1 + r)^t}}$$

Donde:

- t = Vida útil estimada del sistema híbrido en años
- i = Costo de inversión total
- M * t = Costo de operación y descuento de mantenimiento
- E = Energía eléctrica generada total por el sistema en kWh
- r = Tasa total de descuento

$$\text{LCOE} = \frac{\frac{31\,074,00 + 310,74}{(1+0,12)^1} + \frac{31\,074,00 + 310,74}{(1+0,12)^2} + \dots + \frac{31\,074,00 + 310,74}{(1+0,12)^{20}}}{\frac{105,840}{(1+0,12)^1} + \frac{105,840}{(1+0,12)^2} + \dots + \frac{105,840}{(1+0,12)^{20}}}$$

$$\text{LCOE} = S/ 0,2965$$

Según el criterio de LCOE, el costo de la energía generada por el sistema híbrido fotovoltaico – biogás es de S/ 0,2965 soles por cada kWh generado.

4.4.5. Valoración económica del Proyecto

La valoración económica del proyecto se realizó mediante los indicadores VAN y TIR, a lo largo de los 20 años de vida propuesta del sistema. Esto para determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

Tabla 39: Análisis económico con indicadores VAN y TIR

AÑO	0	1	2	3	4	5
EGRESOS	S/ 31 074,00	S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 10 310,74	S/ 310,74
INVERSIÓN	S/ 31 074,00					
REPOSICION DE EQUIPOS					S/ 10 000,00	
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74
INGRESOS		S/ 7 423,30	S/ 7 423,30	S/ 7 423,30	S/ 7 423,30	S/ 7 423,30
AHORRO DE COMBUSTIBLE		S/ 7 200,00	S/ 7 200,00	S/ 7 200,00	S/ 7 200,00	S/ 7 200,00
VENTA DE ENERGIA	-	-	-	-	-	-
BONO CO2		S/ 223,30	S/ 223,30	S/ 223,30	S/ 223,30	S/ 223,30
BENEFICIO	-S/ 31 074,00	S/ 7 112,56	S/ 7 112,56	S/ 7 112,56	-S/ 2 887,44	S/ 7 112,56

6	7	8	9	10	11	12	13
S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 10 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 10 310,74	S/ 310,74
		S/ 10 000,00				S/ 10 000,00	
S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74
S/ 7 423,30	S/ 7 423,30	S/ 7 423,30	S/ 7 423,30	S/ 7 423,30	S/ 7 423,30	S/ 7 423,30	S/ 7 423,30
S/ 7 200,00	S/ 7 200,00	S/ 7 200,00	S/ 7 200,00	S/ 7 200,00	S/ 7 200,00	S/ 7 200,00	S/ 7 200,00
-	-	-	-	-	-	-	-
S/ 223,30	S/ 223,30	S/ 223,30	S/ 223,30	S/ 223,30	S/ 223,30	S/ 223,30	S/ 223,30
S/ 7 112,56	S/ 7 112,56	-S/ 2 887,44	S/ 7 112,56	S/ 7 112,56	S/ 7 112,56	-S/ 2 887,44	S/ 7 112,56

14	15	16	17	18	19	20
S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 10 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 10 310,74
		S/ 10 000,00				S/ 10 000,00
S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74	S/ 310,74
S/ 7 423,30	S/ 7 423,30	S/ 7 423,30	S/ 7 423,30	S/ 7 423,30	S/ 7 423,30	S/ 7 423,30
S/ 7 200,00	S/ 7 200,00	S/ 7 200,00	S/ 7 200,00	S/ 7 200,00	S/ 7 200,00	S/ 7 200,00
-	-	-	-	-	-	-
S/ 223,30	S/ 223,30	S/ 223,30	S/ 223,30	S/ 223,30	S/ 223,30	S/ 223,30
S/ 7 112,56	S/ 7 112,56	-S/ 2 887,44	S/ 7 112,56	S/ 7 112,56	S/ 7 112,56	-S/ 2 887,44

Fuente: Propia

TASA DE INTERES	12%
------------------------	-----

La tasa de interés utilizada para nuestro análisis económico, es de 12%.

VAN	S/ 5 735,92
TIR	16%

Se obtuvieron resultados tales como el VAN con un valor positivo equivalente a S/ 5 735,92 soles y una TIR de 16% (mayor al 12%), que hace posible ver la viabilidad y rentabilidad el proyecto del sistema híbrido y podemos llevarlo a cabo con total confiabilidad.

5. CONCLUSIONES

Se calculó la cantidad de biogás generado que se puede obtener a partir de los diferentes tipos de estiércol utilizables, tanto por los que se encuentran en el CC.PP. La Valle, como en la granja “Hnos. Rojas”. Esta cantidad de biogás estimado para su posterior generación de energía, fue de 8,856 m³/día. Donde, del total de biogás generado, 1,2 m³/día equivalen a los 30 kg de estiércol bovino, 0,72 m³/día a los 24 kg de estiércol de los cuyes y 6,936 m³/día de los 136 kg de estiércol porcino.

Se determinó, mediante la ayuda de encuestas a los pobladores, la demanda energética de las familias del centro poblado. El CC.PP. La Valle tiene una demanda de 3,0 kW de potencia con 14,70 kWh de energía eléctrica que, al realizarse un estudio de crecimiento poblacional para 20 años, obtuvo un crecimiento de 0,736%, con lo que la demanda proyectada sería de aproximadamente unos 3,4416 kW de potencia con 16,864 kWh de energía eléctrica

Se diseñó el sistema híbrido solar fotovoltaico – biogás, donde el sistema fotovoltaico cubrirá un 30% de la demanda total (4,011 kWh), necesitando de 10 paneles fotovoltaicos de 100 W, con un regulador de carga de 30 A, un inversor de 3000 W y 4 baterías con capacidad de 103 Ah. Además, se seleccionó un biodigestor tipo Taiwán por sus múltiples ventajas frente a los demás, de 31,37 metros de largo, 1,11 metros de diámetro y un ancho de rollo de 1,75 metros para el plástico tubular. Adicionalmente, ambos sistemas utilizarán 2 barras colectoras capaces de soportar 32.80 A.

Realizando el análisis técnico económico se conoció que la inversión inicial que se necesita es de S/ 31 074,00 soles que, al hacer un estudio a través de la fórmula del LCOE, se obtuvo el valor de cada kWh que generemos, será de 0,29 soles. Evaluando el proyecto con los indicadores de VAN, obtuvimos resultados de S/ 5 735,92 soles, y una TIR de 16%, que es mayor al 12%, con lo cual podemos concluir en que, nuestro sistema híbrido fotovoltaico - biogás es rentable en el tiempo y se puede realizar sin ninguna complicación.

6. RECOMENDACIONES

Para una estimación de los residuos utilizables en un determinado lugar, es recomendable proyectarlo a un crecimiento y/o decadencia, ya que los animales pueden reproducirse o pueden venderse. Por lo tanto, se debe realizar el cálculo, siempre con la cantidad mínima que se pueda aprovechar.

Se recomienda estudiar la implementación de otro sistema de generación de energía, el cual puede ser de tipo renovable que se pueda aprovechar de acuerdo a las características ambientales de la zona en la cual se está implementando el proyecto, convirtiéndose así en un sistema de tri – generación.

Se recomienda realizar un estudio económico más completo, teniendo en cuenta la venta de energía a los consumidores, de tal manera que esto ya pasé de un contexto de innovación a uno en el cual se obtenga una bonificación a los inversores. El LCOE serviría para tener un conocimiento de a partir de que precio va a oscilar este para la venta posterior.

7. REFERENCIAS

- [1] J. Gonzales, *Energías Renovables*, Barcelona: Reverté, 2009.
- [2] R. Quesada, «GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOGÁS,» *Tierra Tropical*, vol. II, n° 3, pp. 228-229, 2007.
- [3] R. Jimenez y J. Rojas, «BIODIGESTORES,» UEA, Puyo, 2014.
- [4] G. NAP, *Energía Solar Fotovoltaico*, Madrid: Ibergraph, 2002.
- [5] J. Díaz, L. Pabón y A. Pardo, «SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGÍA UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR Y RED ELÉCTRICA,» *Lámpsakos*, vol. I, n° 7, pp. 69-77, 2011.
- [6] E. Quintanilla, A. Vásquez, R. García y J. Salvador, «Acceso a la Energía en el Perú: Algunas Opciones de Política,» Oficina de Estudios Económicos – OSINERGMIN, Lima, 2012.
- [7] J. C. CHÁVEZ, «Energía Hoy,» Instituto EH, 22 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://energiahoy.com/2021/01/22/peru-electrificara-zonas-rurales-en-2021/>. [Último acceso: 24 Septiembre 2021].
- [8] Grupo Banco Mundial, «Banco Mundial,» Grupo Banco Mundial, 2014 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/results/2014/09/24/peru-brings-electricity-to-rural-communities>. [Último acceso: 24 Septiembre 2021].
- [9] D. J. Perez Aceros y P. Rodriguez Parada, «APROVECHAMIENTO DE UN SISTEMA HÍBRIDO BIOGÁS – SOLAR EN LA,» Universidad Autonoma de Bucaramanga, Bucaramanga, 2021.
- [10] A. S. Antônio, D. Oliveira y S. Da Silva, «ELECTRICITY GENERATION FROM BIOGAS ON SWINE FARM CONSIDERING THE,» *Engenharia Agrícola*, vol. XXXVIII, n° 4, pp. 518-525, 2018.
- [11] P. CHAMBI MAMANI y E. VILCA RODRIGUEZ, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONVERSION DE ENERGÍA COMPUESTO POR UN

CONCENTRADOR SOLAR Y UN MOTOR STIRLING PARA LA REGION PUNO,»
Universidad Nacional del Altiplano, Puno, 2013.

- [12] T. G. Nolan, «Diseño de un sistema híbrido fotovoltaico - biogás para la generación de energía eléctrica en la comunidad San Jacinto distrito Nauta departamento Loreto 2021,» Universidad Tecnológica del Perú, Lima, 2021.
- [13] R. P. B. EDSON, «DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DEL ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO PARA UNA VIVIENDA RURAL EN EL CC.PP. LAS CANTERAS DEL DISTRITO DE PÁTAPO – CHICLAYO - LAMBAYEQUE,» Universidad Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2020.
- [14] O. GALVEZ DIAZ, «DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO-BIODIGESTOR DE 15KW PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CASERÍO PÓSOPE BAJO-PÁTAPO,» Universidad Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2018.
- [15] B. Fermin, « Sistemas de Energía Eléctrica,» Paraninfo, Madrid, 2004.
- [16] I. I. d. C. p. l. Agricultura, Uso y acceso a las energías renovables en territorios rurales, San Jose: IICA, 2014.
- [17] G. i. d. e. s. e. c. climático, «Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático,» National Geographic Stock, Potsdam, 2011.
- [18] Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario, BIOMASA, BIOCOMBUSTIBLES Y SOSTENIBILIDAD, Madrid: Graficolor-Palencia S.L., 2012.
- [19] M. d. e. chileno, Manual del Biogás, Santiago de Chile: FAO, 2011.
- [20] G. K, «Codigestión Anaeróbica De Estiércol Y Lodos De Depuradora Para Producción De Biogás,» 2009.
- [21] V. García Páez, MANUAL DE BIOGÁS, Buenos Aires: Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático., 2015.

- [22] M. Herrero, Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación, La Paz: Cooperación Técnica Alemana, 2015.
- [23] E. E. TOALA MOREIRA, «DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE POLIETILENO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DEL ESTIÉRCOL DE GANADO EN EL RANCHO VERÓNICA,» ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Riobamba, 2013.
- [24] O. PERPIÑÁN, ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, Madrid: Creative Commons, 2020.
- [25] Elektra, «Hora Solar Pico,» Energema, Lima, 2014.
- [26] P. EnDev/GIZ, «INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS,» Proyecto Energía, Desarrollo y Vida, Lima, 2013.
- [27] V. Herrera, «Sistema Híbrido Eólico - fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el departamento de turismo del ilustre municipio de baños del agua santa,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2011.
- [28] J. Rivera, «DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO SOLAR PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA EL CASERÍO VIRGEN DEL CARMEN DISTRITO Y PROVINCIA DE JAÉN DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA,» UNPRG, Lambayeque, 2018.
- [29] I. N. d. I. Agronoma, «Producción de Energía Renovable (biogás) a partir del estiércol del ganado bovino en la Estación Experimental Agraria El Porvenir – INIA,» INIA, Tarapoto, 2011.
- [30] J. VEGA ARQUIAO, «DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACION DE UN BIODIGESTOR SEMICONTINUO PARA LA GENERACION DE BIOGAS CON LA FERMENTACION ANAEROBICA DEL ESTIERCOL DE CUY Y DE CONEJO PARA LA INSTITUCION EDUCATIVA PRIVADA CRISTIANA BERESHI,» Universidad Nacional del Santa, Chimbote, 2015.
- [31] J. Martínez Reyes, «Potencial de generación de biogás y energía eléctrica,» *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. XV, nº 3, pp. 429-436, 2014.

- [32] J. Cipriano, «HUELLA ECOLÓGICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN EN EL AÑO 2012,» *BIG BANG FAUSTINIANO*, vol. III, n° 2, p. 8, 2014.

8. ANEXOS

Anexo A

Panel Solar 100W 12V Policristalino EcoGreen



ELECTRICAL DATA AT STC*

Power output (Pmax)	100 W	105 W
Power tolerance	0-+3 %	0-+3 %
Module efficiency	14.63 %	15.36 %
Maximum power voltage (Vmp)	18.41 V	18.92 V
Maximum power current (Imp)	5.43 A	5.55 A
Open circuit voltage (Voc)	22.41 V	23.32 V
Short circuit current (Isc)	5.89 A	5.92 A

*Standard Test Conditions: Irradiance: 1 000 W / m²
Cell temperature: 25 °C • AM: 1.5

ELECTRICAL DATA AT NOCT*

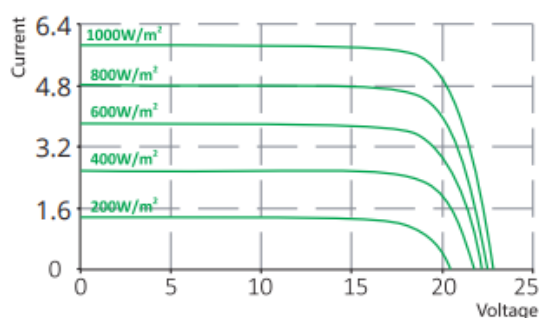
Power output (Pmax)	73.98 W	77.68 W
Maximum power voltage (Vmp)	17.00 V	17.48 V
Maximum power current (Imp)	4.35 A	4.44 A
Open circuit voltage (Voc)	20.80 V	21.65 V
Short circuit current (Isc)	4.78 A	4.81 A

*Nominal Operating Cell Temperature: Irradiance: 800 W / m²
Ambiant temperature: 20 °C • AM: 1.5 • Wind speed: 1 m/s

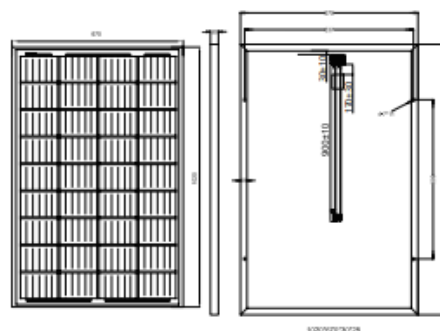
TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NOCT	45 °C ±2 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.41%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.31%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.06%/°C

I-V CURVES



ENGINEERING DRAWINGS (mm)



Fuente: <https://autosolar.pe/paneles-solares-12v/panel-solar-100w-12v-policristalino-ecogreen>

Anexo B

Encuesta Realizada

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

**ENCUESTA**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

“Diseño de un sistema híbrido solar fotovoltaico-biogás para generación de energía eléctrica en el centro poblado La Valle-Tumán”

NOMBRE: Carlos Enrique Rojas Rojas

1) ¿Cuál es la cantidad promedio de cerdos presentes en su granja durante un año aproximadamente?

Aproximadamente 40 a 50 cerdos

2) ¿Cuántos cerdos tiene actualmente dentro de su granja?


42 cerdos.

3) ¿Cómo se clasifican los cerdos dentro de su granja?

Madrillas, lechones y Bebés

4) ¿Podría completar la tabla indicando el número de animales de acuerdo a su clasificación?

Tipo de Cerdo	Cantidad
Madrillas	12
Lechones	10
Bebés	20


DNI: 72384278

Fuente: Propia

Anexo C

Regulador carga solar PC1500B Series



Modelo		PC1500B-10-20		PC1500B-30-40		PC1500B-50-60		PC1500B-6048D	
Entrada	Voltaje FV	≤50V						≤100V	
	Intensidad nominal	10A	20A	30A	40A	50A	60A	50A	60A
Salida	Voltaje sistema	12/24V Auto						48V	
	Desconexión por alto voltaje	16.00V x 1/ x 2/ x 3/ x 4 (0.5V)							
	Intensidad descarga nominal	10A	20A	30A	40A	50A	60A	50A	60A
	Autoconsumo	≤13mA						≤25mA	
	Caída de tensión circuito carga	≤0.24V						≤0.25V	
	Caída de tensión circuito descarga	≤0.10V						≤0.10V	
	Modo de carga	PWM 4-etapas carga, absorción, flotación, ecualización							
	Voltaje Carga Flotación	13.8V (13V~15V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4							
	Voltaje Carga Absorción	2 horas duración		14.4V (13V~15V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4					
	Voltaje Carga Ecualización			14.6V (13V~15.5V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4					
	Protección Bajo Voltaje	10.7V (10V~14V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4							
	Reconexión Bajo Voltaje	12.6V (10V~14V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4							
	Salida USB	5V, 1A x2				No tiene			
Características físicas	Sección cableado	≤6mm ²		≤16mm ²		≤16mm ²		≤16mm ²	
	Temperatura trabajo	-20°C~55°C							
	Tamaño (L x W x H)	188 x 95 x 46.5mm				196 x 111 x 54mm			
	Peso neto	355g				407g			

Fuente: <https://autosolar.pe/pdf/Controladores-Solares-PWM-Must-Solar.pdf>

Anexo D

Inversor Cargador 3000W 24V MPPT 80A Must Solar VHM



MODEL		PV18-2024 VHM	PV18-3024 VHM	PV18-3048 VHM	PV18-4048 VHM	PV18-5048 VHM	PV18-5548 VHM
Nominal Battery System Voltage		24VDC			48VDC		
INVERTER OUTPUT	Rated Power	2000W	3000W	3000W	4000W	5000W	5500W
	Surge Power	4000W	6000W	6000W	8000W	10000W	11000W
	Waveform	Pure Sine Wave					
	AC Voltage Regulation (Batt.Mode)	(220VAC-240VAC)±5%					
	Inverter Efficiency(Peak)	93%					
	Transfer Time	10ms (For Personal Computers) 20ms (For Home Appliance)					
AC INPUT	Voltage	230VAC					
	Selectable Voltage Range	170-280VAC(For personal computer) \ 80-280VAC(For Home Appliance) \ 184-253VAC(VDE4105)					
	Frequency Range	50Hz/60Hz(Auto sensing)					
BATTERY	Normal Voltage	24VDC		48VDC			
	Floating Charge Voltage	27VDC		54VDC			
	Overcharge Protection	31VDC		60VDC			
SOLAR CHARGER & AC CHARGER	Maximum PV Array Open Circuit Voltage	145VDC					
	PV Array MPPT Voltage Range	30~130VDC		64~130VDC			
	Standby Power Consumption	2W					
	PV Input Power	1440W/1920W		2880W/3840W			
	Maximum Solar Charge Current	80A/80A					
	Maximum Efficiency	98%					
	Maximum AC Charge Current	20A/30A		60A			
	Maximum Charge Current	80A		120A/140A			
MECHANICAL SPECIFICATIONS	Machine Dimensions(W*H*D)(mm)	272*355*100		297.5*468*125			
	Package Dimensions(W*H*D)(mm)	540*395*241		638*395*241			
	Net Weight(kg)	10	11	13.3			
	Gross Weight(kg)	11.7	12	16.4			
OTHER	Humidity	5% to 95% Relatly Humidity (Non-condensing)					
	Operating Temperature	0°C ~55°C					
	Storage Temperature	-15°C ~60°C					

Fuente: <https://autosolar.pe/inversores-cargadores-24v/inversor-cargador-3000w-24v-mppt-80a-must-solar-vhm>

Anexo E

Bateria 27 MP S5 Sellada



Características Eléctricas		Características Generales	
Voltaje (V)	12	Largo (mm)	306
Capacidad (Ah)	103	Ancho (mm)	168
Reserva (Min)	194	Alto (mm)	230
CCA -18°C (A)	930	Tecnología	SLI - FB
CCA 0°C (A)	1110	Peso (Kg)	22.6
CCA 27°C (A)	1330	Polaridad	⊖ ⊕

Fuente: <https://www.boschecuador.com/shop/producto?id=2107>

Anexo F

Conductor INDECO S.A. THW-90 450/750 V



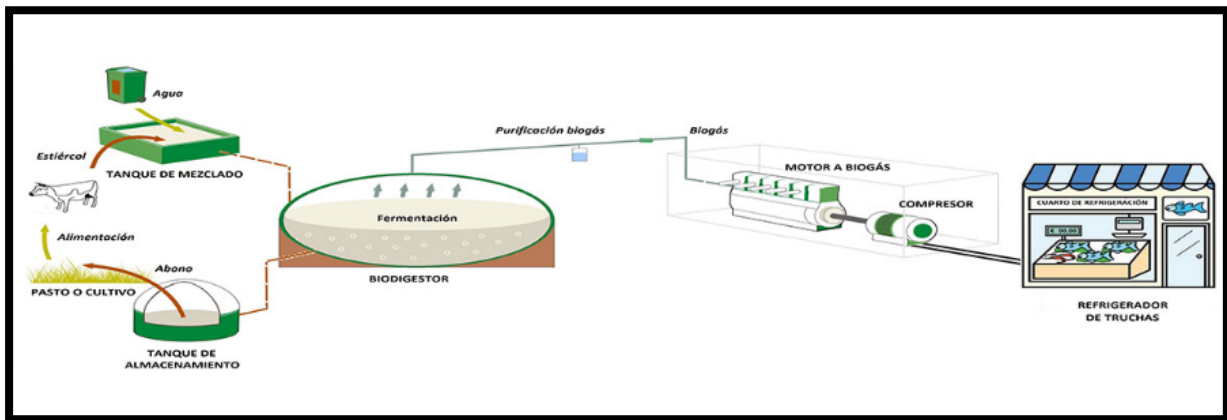
TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (mm ²)								
CALIBRE CONDUCTOR	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (°)	
							AIRE	DUCTO
mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	32	37	27
4	7	0.84	2.44	0.8	4.1	47	45	34
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	67	61	44
10	7	1.33	3.99	1.1	6.2	117	88	62
16	7	1.69	4.67	1.5	7.7	186	124	85
25	7	2.13	5.88	1.5	8.9	278	158	107
35	7	2.51	6.92	1.5	10	375	197	135
50	19	1.77	8.15	2	12.3	520	245	160
70	19	2.13	9.78	2	13.9	724	307	203
95	19	2.51	11.55	2	15.7	981	375	242
120	37	2.02	13	2.4	18	1245	437	279
150	37	2.24	14.41	2.4	19.4	1508	501	318
185	37	2.51	16.16	2.4	21.1	1866	586	361
240	37	2.87	18.51	2.4	23.5	2416	654	406
300	37	3.22	20.73	2.8	26.5	3041	767	462
400	61	2.84	23.51	2.8	29.3	3846	906	541
500	61	3.21	26.57	2.8	32.3	4862	1037	603

TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (AWG / MCM)									
CALIBRE CONDUCTOR	SECCION NOMINAL	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (°)	
								AIRE	DUCTO
AWG/MCM	mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
14	2.1	7	0.60	1.75	0.8	3.4	28	35	25
12	3.3	7	0.76	2.20	0.8	3.8	40	40	30
10	5.3	7	0.96	2.78	0.8	4.4	59	56	40
8	8.4	7	1.20	3.61	1.1	5.9	98	80	56
6	13.3	7	1.53	4.60	1.5	7.6	161	107	75
4	21.1	7	1.93	5.80	1.5	8.9	240	141	96
2	33.6	7	2.44	7.31	1.5	10.4	363	192	130
1/0	53.4	19	1.87	8.58	2	12.7	570	260	170
2/0	67.4	19	2.10	9.64	2	13.8	704	300	197
3/0	85.1	19	2.35	10.82	2	15	871	350	226
4/0	107.2	19	2.64	12.15	2.4	17.1	1109	406	260
250	126.7	37	2.06	13.25	2.4	18.2	1289	457	290
300	151.9	37	2.25	14.51	2.4	19.5	1527	505	321
350	177.5	37	2.44	15.69	2.4	20.6	1769	569	350
500	253.1	37	2.91	18.73	2.8	24.5	2512	699	429

Fuente: <https://ingelec.pe/wp-content/uploads/2018/05/THW-90.pdf>

Anexo G

Biodigestor conectado a un motor electrico



Fuente: <https://www.residuosprofesional.com/sistema-refrigerante-a-partir-de-biogas/>