

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO-BIODIGESTOR
DE 15KW PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CASERÍO
PÓSOPE BAJO-PÁTAPO**

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

GALVEZ DIAZ, OSCAR

Chiclayo, 26 de junio del 2018

DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO- BIODIGESTOR DE 15KW PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CASERÍO PÓSOPE BAJO-PÁTAPO

PRESENTADA POR:

GALVEZ DIAZ, OSCAR

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de:

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR:

M. Sc. Villalobos Cabrera, Jony.

PRESIDENTE

Ing. Guillermo Yarlequé, José Anthony.

SECRETARIO

M. Eng. Llontop Mendoza, Lucio Antonio.

ASESOR

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico mi familia que gracias a su apoyo pude concluir mi carrera.

A mi esposa por estar siempre presente, acompañándome en mi vida universitaria.

A mi hijo Sthepano Benjamín, motivo de mi vida, esfuerzos y logro, con profundo amor y cariño.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la Virgen María ya que con sus cuidados me ha protegido y encaminado en este tiempo de estudio.

A mi padre por brindarme los recursos necesarios para poder terminar la universidad.

A mi madre por hacer de mí una gran persona a través de sus enseñanzas, consejos y amor.

A ellos, muchas gracias.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Objetivos de investigación	15
1.1.1. Objetivo general	15
1.1.2. Objetivos específicos	15
1.2. Justificación	16
II. MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes	17
2.2. Bases Teórico Científicas	18
2.2.1. Que es la Energía Eléctrica	18
2.2.2. Tipos de energías convencionales	18
2.2.2.1. Energía solar	18
2.2.2.2. Energía eólica.....	18
2.2.2.3. Energía de la biomasa	19
2.2.2.4. Energía hidráulica	19
2.2.2.5. Energía de las mareas.....	19
2.2.3. Introducción a la energía solar	20
2.2.4. Energía solar fotovoltaica	22
2.2.4.1. Célula fotovoltaica	22
2.2.4.2. Que es un Panel fotovoltaicos.....	23
2.2.4.3. Sistema de almacenamiento.....	25
2.2.4.4. Reguladores de carga	27
2.2.4.5. Sistema de adaptación de corriente (inversor)	27
2.2.5. Definición de un Biodigestor	28
2.2.5.1. Biomasa.....	28
2.2.5.2. Clasificación de la biomasa.....	29
2.2.5.3. Tipo de biomasa.....	29
2.2.5.4. Biodigestión	30
2.2.5.5. Proceso de Digestión aerobia.....	30
2.2.5.6. Proceso de Digestión anaerobia	31
2.2.6. Tipos de Biodigestores	33
2.2.6.1. Biodigestores de Domo Flotante (Indio).....	33

2.2.6.2.	Biodigestores de Domo Fijo (Chino).....	34
2.2.6.3.	Biodigestor Tipo Salchicha/CIPAV/Taiwán/Tubular.....	34
2.2.7.	Biogás.....	36
2.2.7.1.	Composición Media de Biogás	36
2.2.8.	Factores que afectan la producción de Biogás.....	38
2.2.9.	Almacenamiento del Biogás.....	40
2.2.10.	Filtro de ácido sulfhídrico.....	40
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
3.1.	Diseño de investigación	42
3.1.1.	Hipótesis	42
3.1.2.	Ubicación.....	42
3.1.3.	Clima	43
3.1.4.	Datos meteorológicos y ambientales	43
3.1.5.	Variables	44
3.1.6.	Población y muestra	44
3.1.7.	Métodos y técnicas de recolección de datos.....	44
3.1.8.	Técnicas de procesamiento de datos	45
3.2.	Metodología.....	46
IV.	RESULTADOS.....	47
4.1.	Analizar y determinar de acuerdo a proyección de la demanda el consumo de energía eléctrica en el Caserío Pósope Bajo-Pátapo.....	47
4.1.1.	Cálculo de energía a consumir por vivienda.....	47
4.1.2.	Proyección y demanda	50
4.1.2.1.	Proyección.....	51
4.1.2.2.	Demanda	53
4.2.	Analizar y determinar la cantidad de biomasa generado en el Caserío Pósope Bajo-Pátapo.....	54
4.2.1.	Cálculo de producción de estiércol por animal	54
4.2.2.	Cálculo de cantidad de residuos orgánicos	57
4.2.3.	Composición química del biogás	57
4.2.4.	Balance de materiales de los respectivos compuestos a generar energía	58
4.2.5.	Cálculo del porcentaje en volumen.....	58
4.2.6.	Cantidad de kg del combustible.....	59

4.2.7.	Balance de masa de combustión en el generador	59
4.2.8.	Selección del generador eléctrico	60
4.3.	Determinación del índice de radiación solar en el Caserío Pósope Bajo-Pátapo	61
4.4.	Diseñar y seleccionar el sistema híbrido fotovoltaico-biodigestor para la generación de 15 kW de energía eléctrica en el CASERIO PÓSOPE BAJO-PÁTAPO	62
4.4.1.	Selección de tipo de Biodigestor	62
4.4.2.	Capacidad de Planta de Biogás	62
4.4.2.1.	Cálculo de Biomasa Disponible diaria	63
4.4.2.2.	Cálculo de Agua Necesaria para Mezcla Excreta-Agua	63
4.4.2.3.	Carga diaria	63
4.4.2.4.	Tiempo de Retención	64
4.4.2.5.	Volumen total de Biodigestor	64
4.4.3.	Geometría de la Planta de Biogás	64
4.4.3.1.	Ancho de rollo y radio de la manga tubular	64
4.4.3.2.	Volumen de una manga, sección eficaz y longitud	66
4.4.3.3.	Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor	67
4.4.3.4.	Dimensionamiento de Zanja para el Biodigestor	69
4.4.3.5.	Proceso constructivo	70
4.4.3.6.	Materiales del biodigestor	75
4.5.	Estimación de la carga que se requiere conectar actualmente con el sistema fotovoltaico en el Caserío Pósope Bajo-Pátapo	76
4.5.1.	Consumo eléctrico real	76
4.5.2.	Dimensionamiento de los paneles	77
4.5.3.	Radiación solar	79
4.5.4.	Cálculo de los Paneles Fotovoltaicos	81
4.5.5.	Sistema de almacenamiento	82
4.5.6.	Regulador de carga	84
4.5.7.	Inversor de carga	84
4.5.8.	Selección del conductor	84
4.5.8.1.	Tramo campo fotovoltaico – Regulador	86
4.5.8.2.	Tramo campo Regulador –Acumulador	87
4.5.8.3.	Tramo campo Acumulador-Inversor	88
4.5.8.4.	Tramo Inversor – Tablero	88

4.5.9. Materiales.....	88
4.6. Diseño del sistema híbrido	89
4.6.1. Cálculo de barras colectoras	89
4.6.2. Materiales.....	92
V. Análisis Económico	93
5.1. Análisis de la inversión.....	93
5.2. Costes del Sistema Híbrido	96
5.3. Costes de mantenimiento	96
5.4. Ingresos.....	97
5.4.1. Ahorro de combustible.....	97
5.4.2. Producción de maíz	97
5.4.3. Bonos de carbono	97
5.4.4. Pagos por mantenimiento	98
5.5. Coste del kW/h del sistema Híbrido.....	98
5.6. Valoración del proyecto	98
5.7. Valor actual neto (VAN)	98
5.8. Tasa interna de rentabilidad (TIR).....	99
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	102
VII. ANEXOS	104

Lista de tablas

Tabla 1. Tipos de paneles fotovoltaicos	24
Tabla 2. Tipos de baterías.....	26
Tabla 3. Compuestos del Biogás (%)	37
Tabla 4. Componentes del Biogás en función del Substrato Utilizado	37
Tabla 5. Radiación mensual del Caserío Pósope bajo-Pátapo	43
Tabla 6. Tipos de variables.....	44
Tabla 7. Promedio mensual de energía consumida por luminarias	47
Tabla 8. Promedio mensual de energía consumida por artefactos	48
Tabla 9. Promedio mensual de energía consumida por alumbrado público.....	49
Tabla 10. Promedio mensual de energía consumida por bombas de agua	49
Tabla 11. Potencia base total.....	50
Tabla 12. Indicadores, variables, fuentes de información.....	51
Tabla 13. Proyección de crecimiento	52
Tabla 14. Proyección de habitantes del año 2016-2036.....	52
Tabla 15. Proyección de viviendas del año 2016-2036.....	52
Tabla 16. Indicadores de la demanda	53
Tabla 17. Demanda de energía del 2016-2036.....	53
Tabla 18. Tipos de especies de animales.....	54
Tabla 19. Cantidad de animales	54
Tabla 20. Aporte de estiércol diario por especie	55
Tabla 21. Cálculo de estiércol diario.....	56
Tabla 22. Estiércol diario	57
Tabla 23. Compuesto del biogás %	57
Tabla 24. Promedio mensual de radiación solar kWh/m^2	61
Tabla 25. Parámetros según el ancho del rollo.....	65
Tabla 26. Parámetros según el ancho del rollo.....	66
Tabla 27. Longitud del biodigestor según el ancho del rollo	67
Tabla 28. Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor	67
Tabla 29. Selección de plástico tubular.....	68
Tabla 30. Dimensiones de la zanja según el ancho de rollo (AR).....	69
Tabla 31. Dimensiones de la zanja según el ancho de rollo (AR) tabulada.....	69
Tabla 32. Materias del biodigestor	75
Tabla 33. Consumo diario de energía.....	76
Tabla 34. Selección de cables.....	85
Tabla 35. Materiales para la instalación del sistema fotovoltaico.....	88
Tabla 36. Materiales para la instalación del Sistema Híbrido	92
Tabla 37. Presupuesto del Sistema Fotovoltaico.....	93
Tabla 38. Presupuesto del Biodigestor	94
Tabla 39. Presupuesto de los Generadores eléctricos.....	95
Tabla 40. Presupuesto de las Barras Colectoras de Cobre	95
Tabla 41. Presupuesto total de la inversión.....	95
Tabla 42. Costos de mantenimiento	96

Tabla 43. Factor de emisión de consumo eléctrico97
Tabla 44. VAN y TIR.....100

Lista de Figuras

Figura N°1. Radiación solar	21
Figura N°2. Célula fotovoltaica	22
Figura N°3. Panel solar fotovoltaico	23
Figura N°4. Composición de la biomasa.....	28
Figura N°5. Proceso de Digestión aerobia	31
Figura N°6. Proceso de Digestión anaerobia	31
Figura N°7. Procesos por la cual pasa la materia orgánica	33
Figura N°8. Biodigestores de Domo Flotante	34
Figura N°9. Biodigestor Tipo Salchicha/CIPAV/Taiwán/Tubular	35
Figura N°10. Efecto de la temperatura y tiempo de retención sobre la producción de gas	39
Figura N°11. Ubicación del sistema híbrido	42
Figura N°12. Diagrama de flujo del proceso del sistema híbrido para la generación de energía eléctrica	46
Figura N°13. Esquema básico de un biodigestor	63
Figura N°14. Desenrollando el rollo de polietileno tubular	65
Figura N°15. Diseño de la fosa	69
Figura N°16. Modelo de la fosa para la instalación del biodigestor	70
Figura N°17. Características de la instalación de la primera válvula de control.....	73
Figura N°18. Detalle de la trampa para eliminar el ácido sulfhídrico (H_2S).....	74
Figura N°19. Definición de las horas picos solares	80
Figura N°20. Diseño del Sistema Híbrido.....	91
Figura N°21. Porcentajes de gastos del Sistema Híbrido.....	96

RESUMEN

Este proyecto consiste en el diseño de un sistema híbrido Fotovoltaico-Biodigestor de 15 kW para generar energía eléctrica en el Caserío Pósope. Como un prototipo de un sistema que pretende unir dos redes para poder producir energía eléctrica junto con los beneficios ambientales asociados, para su posterior aplicación en el Caserío Pósope Bajo.

Se seleccionó de la mejor opción tecnológica y de los principales componentes del sistema híbrido de acuerdo a las condiciones geográficas y meteorológicas de la zona.

Se van a tratar aspectos como el diseño del sistema híbrido, que implica dimensionamiento de los paneles y del biodigestor; el tipo de panel, de baterías, reguladores como también el tipo material del biodigestor y la medida de las zanjas. Para determinar la viabilidad del proyecto se abordarán aspectos económicos y de rentabilidad como inversión necesaria.

PALABRAS CLAVE

Biodigestor, paneles solares, biomasa, generadores, reguladores, baterías, inversores.

ABSTRACT

This project involves the design of a PV-hybrid system Biodigestor 15 kW to generate electricity in the hamlet Pósope. As a prototype of a system designed to link two networks to produce electricity with associated environmental benefits, for subsequent application in the hamlet Pósope Bajo.

I selected the best technology choice and the main components of the hybrid system according to geographical and meteorological conditions of the area.

They are treated as design aspects of the hybrid system, which involves sizing of the panels and the digester; the type of panel, battery types, and types of regulators as well as the material type of digester and the extent of the trench. To determine the economic viability of the project profitability and investment aspects were addressed as needed.

KEYWORDS:

Biodigester, solar panels, biomass, generators, regulators, batteries, inverters.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se observa que la energía solar es una fuente inagotable capaz de mover al mundo, lo único que hace falta es explotarla, la energía solar se encuentra dentro de las energías renovables y estas utilizan recursos naturales ilimitados para la generación eléctrica; como también tenemos los desechos orgánicos (excremento de animales, personas) que también es una fuente capaz de producir energía de una manera limpia.

En otros países como por ejemplo Brasil en el año 2013 se hizo una viabilidad económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala, como también en Colombia se realizó la implementación de un sistema biodigestor autosustentable para una granja y esto en la actualidad resulto favorable.

Debido a que el caserío “Pósope bajo “cuenta con pocas horas de energía eléctrica gracias a 2 motores eléctricos que funcionan a gasolina; estos motores les proporciona energía por 3 horas nocturnas de 6 a 9 de la noche, esto causa incomodidad para la comunidad campesina, ya que no les permite realizar sus actividades en el transcurso del día. Por lo cual se empezó haciendo un diagnóstico del consumo de energía eléctrica de las luminarias y cada tipo de artefacto del caserío, en donde se obtuvieron los datos necesarios y determinar la carga total de las luminarias y artefactos en las cuales se enfoca el proyecto.

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un sistema híbrido fotovoltaico –biodigestor de 15 kW para generar energía eléctrica en el caserío Pósope bajo, el cual tiene 8 viviendas; considerando el beneficio que se puede obtener a partir de la producción de energía por medio de biodigestores y paneles fotovoltaicos, además es de importancia aprender el diseño de estos en aquellos lugares donde se dispone de la materia prima y de energía solar necesaria para su funcionamiento.

Se hace un estudio para medir la radiación solar y un análisis de cómo se va a obtener los residuos orgánicos, estos son los principales puntos que debemos obtener. También se tiene que observar y analizar la zona donde se encuentra ubicado el caserío; además hacer los cálculos necesarios y así saber las dimensiones para luego obtener el trabajo deseado.

1.1. Objetivos de investigación

1.1.1. Objetivo general

- Diseñar un Sistema Híbrido Fotovoltaico-Biodigestor de 15kW para generar energía eléctrica en el Caserío Pósope Bajo-Pátapo.

1.1.2. Objetivos específicos

- Analizar y determinar de acuerdo a proyección de la demanda el consumo de energía eléctrica en el Caserío Pósope Bajo-Pátapo.
- Analizar y determinar la cantidad de biomasa generado en el Caserío Pósope Bajo-Pátapo.
- Determinar el índice de radiación solar en el Caserío Pósope Bajo-Pátapo.
- Diseñar y seleccionar el sistema híbrido fotovoltaico-biodigestor para la generación de 15 kW de energía eléctrica en el CASERIO PÓSOPE BAJO-PÁTAPPO.

1.2. Justificación

Teniendo en cuenta que la zona en la que se encuentra ubicado el caserío “Pósope bajo” - Pátapo corresponde a la zona norte de nuestro país, la cual por ser un área tropical presenta buena cantidad de irradiación proveniente del sol y también donde existen bastantes residuos orgánicos, por lo que en este caso se ha decidido diseñar un sistema híbrido Fotovoltaica-Biodigestor para generar energía eléctrica y también para que la comunidad se desempeñe en todo lo que saben hacer y así cumplan su labor de trabajo diario en dicho caserío; de esta manera la comunidad tiene que saber darle buen uso ya que las luminarias solo funcionan mayormente en las tardes y noches, aparte algunas cosas de electrodomésticos; para lo que tendríamos toda la mañana para realizar la carga y conversión de la energía llegando así a tener una disminución económica en el consumo de luz y a su vez contribuyendo con el medio ambiente al estar elaborando energía limpia y renovable.

Con este diseño se piensa disminuir la contaminación de CO_2 , ayudar a las personas en su labor diaria para que de este modo también motivemos a desarrollar energías renovables; teniendo en cuenta lo anterior, se ha pensado en desarrollar este sistema híbrido para que se autosustentable y de gran beneficio; por ello se eligió a dicho caserío, el cual se toma como objeto de estudio y que nos hemos enfocado para generar energía eléctrica.

El beneficio tecnológico es que se va a utilizar la unión de dos redes eléctricas que me permite hacer un sistema híbrido de energías y luego así repartir de manera uniforme a las 8 viviendas que se encuentran el Caserío

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Alcocer, J. (2009). “La energía solar y su importancia. En la actualidad”, debido a los cambios climáticos y desastres naturales producidos por el incremento de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, la conciencia medioambiental y el uso de energías renovables (EERR) están experimentando un crecimiento necesario e inminente. Entre dichas energías, una de las más importantes es la solar.

Existen dos formas básicas de energía aprovechables del sol: la energía solar térmica (que aprovecha la luz del astro para convertirla en calor) y la energía solar fotovoltaica (que genera energía eléctrica directamente de los rayos luminosos). Ambos tipos tienen diversas aplicaciones en las actividades humanas

Chu, Y. (2011), **“Revisión y comparación de diferentes tecnologías de energía solar”**. En su investigación sobre las demandas progresivas de energías limpias, la industria de la energía solar es una de las fuerzas de más rápido crecimiento en el mercado. Actualmente existen varias direcciones importantes en el desarrollo de estas tecnologías. Por ejemplo, los sistemas fotovoltaicos convierten la energía solar en eléctrica de forma directa, mientras que los sistemas termosolares primero la transforman en energía térmica y luego a eléctrica mediante un dispositivo térmico.

Tras haberse establecido un sistema, es muy difícil actualizarlos o cambiar los métodos de operación. Para escoger el sistema solar correcto para una localización geográfica específica, es necesario comprender y comparar los mecanismos básicos y las funciones operativas generales de varias tecnologías solares ya ampliamente estudiadas. En este documento se brinda una breve introducción sobre el acelerado crecimiento de las tecnologías solares. Asimismo, busca ayudar a evitar costos considerables de cambio a largo plazo en el futuro y hacer que el desempeño de tales sistemas sea más eficiente, económico y estable.

Marti, H. (2008) **“Biodigestores familiares. Guía de diseño y manual de instalación”**. Este documento pretende divulgar la tecnología de los biodigestores familiares, tanto su diseño como en su instalación y manejo. Está basado principalmente en la experiencia de siete años de trabajo a nivel práctico y académico. La experiencia más relevante ha sido lograr hacer funcionar un biodigestor familiar a 4100 metros de altura sobre el nivel del mar en Pongo (Cochabamba, Bolivia) en 2003.

(Fco. Javier Ocaña Pérez-Cerdá octubre de 2011, p. 0-116) realizó una investigación sobre un Biodigestor Anaerobio De Laboratorio, dicho proyecto se basa en el diseño y construcción de un biodigestor anaerobio de laboratorio, así como su puesta en marcha y aplicación práctica por medio de la realización de un experimento, en el que se analizará la producción de biogás a diferentes temperaturas de digestión, en concreto a 25°C, 30°C y 35°C. De este modo se ha determinado la influencia de la temperatura en la calidad y cantidad del biogás producido, así como su influencia en otros parámetros. Para ello se han realizado una serie de 4 experimentos en los que se han

controlado parámetros como el pH, la DQO, los contenidos de fósforo y nitrógeno y volumen de biogás producido, entre otros. Este caso práctico servirá como prueba del correcto funcionamiento del biodigestor, y a su vez servirá en sí mismo como un estudio sobre la producción de biogás en este tipo de digestores con diferentes condiciones de temperatura.

2.2. Bases Teórico Científicas

2.2.1. Que es la Energía Eléctrica

La energía eléctrica es la forma de energía que resultará de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, situación que permitirá establecer una corriente eléctrica entre ambos puntos si se los coloca en contacto por intermedio de un conductor eléctrico para obtener el trabajo mencionado.

En tanto, la energía eléctrica es una energía capaz de transformarse en muchísimas otras formas de energía como ser: la energía luminosa, la energía térmica y la energía mecánica.

El proceso funciona de la siguiente manera...la energía eléctrica se transformará en corriente eléctrica por medio de un cable conductor metálico por la diferencia de potencial que un generador esté en ese momento aplicando en sus extremos. Por tanto, cada vez que accionamos un interruptor de cualquier aparato lo que sucede es el cierre de un circuito eléctrico, generándose el pertinente movimiento de electrones a través del cable conductor, las cargas que se irán desplazando forman parte de los átomos. [2]

2.2.2. Tipos de energías convencionales

2.2.2.1. Energía solar

La energía solar, como recurso energético terrestre, está constituida simplemente por la porción de la luz que emite el sol y que es interceptada por la tierra. La intensidad de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra se reduce por varios factores variables, entre ellos, la absorción de la radiación, en intervalos de longitud de onda específicos, por los gases de la atmósfera, dióxido de carbono, ozono, etc., por el vapor de agua, por la difusión atmosférica por las partículas de polvo, moléculas y gotitas de agua, por reflexión de las nubes y por la inclinación del plano que recibe la radiación respecto de la posición normal de la radiación. [1]

2.2.2.2. Energía eólica

La energía eólica es la energía que se extrae del viento. Las aplicaciones más comunes son: transporte (veleros), generación eléctrica y bombeo de agua, la energía eólica es derivada de la energía solar, porque una parte de los movimientos del aire atmosférico se debe al calentamiento causado por el sol.

Utilizada en aplicaciones de pequeña escala en zonas rurales aisladas para la generación de energía eléctrica, mediante el uso de aerogeneradores de electricidad. [1]

2.2.2.3.Energía de la biomasa

La forma más antigua de aprovechamiento de la energía solar, inventada por la naturaleza misma, es la fotosíntesis. Mediante ese mecanismo las plantas elaboran su propio alimento (su fuente de energía) y el de otros seres vivos en las cadenas alimenticias. Pero también mediante fotosíntesis se obtienen otros productos, como la madera, que tienen muchas aplicaciones, además de su valor energético. A partir de la fotosíntesis puede utilizarse la energía solar para producir sustancias con alto contenido energético.

Actualmente es utilizada para la calefacción residencial. No obstante, se aprovechan residuos energéticos de otros procesos para inyectar energía a la red mediante plantas de cogeneración eléctrica. [1]

2.2.2.4.Energía hidráulica

La energía hidráulica es la que se obtiene a partir de caídas de agua, artificiales o naturales. Típicamente se construyen presas en los lugares con una combinación de gasto anual de agua y condiciones orográficas adecuadas.

La energía potencial acumulada en los saltos de agua puede ser transformada en energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía de los ríos para poner en funcionamiento unas turbinas que mueven un generador eléctrico. [1]

2.2.2.5.Energía de las mareas

La energía marina o energía de los mares (también denominada a veces energía de los océanos o energía oceánica) se refiere a la energía renovable producida por las olas del mar, las mareas, la salinidad y las diferencias de temperatura del océano. El movimiento del agua en los océanos del mundo crea un vasto almacén de energía cinética o energía en movimiento. Esta energía se puede aprovechar para generar electricidad que alimente las casas, el transporte y la industria. [1]

2.2.3. Introducción a la energía solar

El sol es una fuente inagotable de recursos para el hombre, es limpia, abundante y está disponible en la mayor parte de la superficie terrestre y puede, por lo tanto, liberarlo de los problemas ambientales generados por los combustibles convencionales como el petróleo y de otras alternativas energéticas como las centrales nucleares. Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos de las últimas décadas el aprovechamiento de esta opción ha sido insignificante, comparándolo con el consumo global de energía en el mundo. [3]

Los problemas técnicos que se plantean para el aprovechamiento de la energía solar son los siguientes [3]

- ✓ Gran dispersión de la energía solar sobre la superficie de la tierra.
- ✓ Carácter incontrolable y variable en el tiempo de la intensidad de radiación solar.

La radiación solar que recibe una superficie horizontal es del orden de 1 kW/m^2 al mediodía, variando según la latitud del lugar, nubosidad, humedad y otros factores, pero su principal problema es su intermitencia y en invierno que es generalmente cuando más se necesita, es menor, de modo que en la mayoría de los casos la disponibilidad no coincide con la demanda. Por ello, se requiere el almacenamiento para un tiempo de autonomía determinado y además, en caso de superarse el mismo, contar como seguridad con el apoyo de sistemas de respaldo o fuentes suplementarias de energía [3]

Radiación solar:

El sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de $5,500 \text{ }^\circ\text{C}$ en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del sol se transmite al exterior mediante la denominada radiación solar. [4]

La radiación en el sol es de $63\,450,720 \text{ W/m}^2$. Se supone que el sol emite en todas las direcciones y se construye una esfera que llegue hasta la atmósfera terrestre, es decir, que tenga un radio de distancia de 149,6 millones de km, se podrá determinar cuál es la radiación en ese punto. Este valor de la radiación solar recibida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocida como constante solar ($1,353 \text{ W/m}^2$), variable durante el año en un 3% a causa de la elipticidad de la órbita. [4]

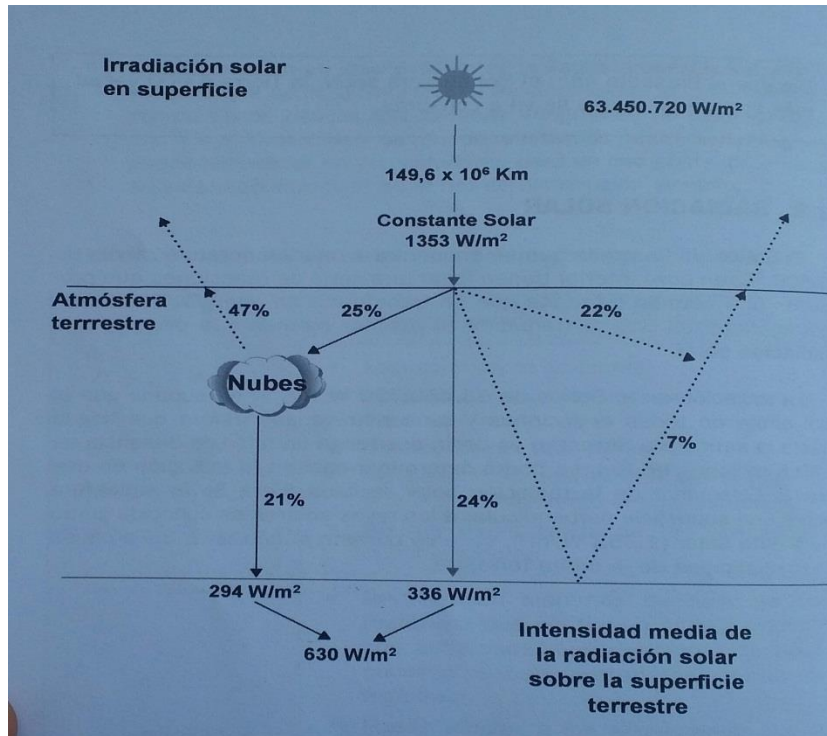


Figura N°1. Radiación solar

Fuente: Energía solar fotovoltaica

A la tierra solo llega aproximadamente 1/3 de la energía total interior captada por la atmosfera, y de ella el 70% cae en el mar. Aun así, es varios miles de veces el consumo energético mundial [4]

Tipo de radiaciones:

En función de cómo inciden los rayos en la tierra se distinguen tres tipos de componentes de la radiación [4]

Directa: Es la recibida desde el sol sin que se desvíe en su paso por la atmosfera.

Difusa: Es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmosfera

Albedo: Es la radiación directa y difusa que se recibe por la reflexión en el suelo u otras superficies próximas

2.2.4. Energía solar fotovoltaica

Se llama fotovoltaica a la energía solar aprovechada por medio de celdas fotoeléctricas, capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin que tenga lugar un efecto térmico.

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina. [5].

2.2.4.1. Célula fotovoltaica

Una célula fotoeléctrica, también llamada célula, fotocélula o celda fotovoltaica, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones) mediante el efecto fotoeléctrico. En la actualidad el material fotosensible más utilizado es el silicio, que produce corrientes eléctricas mayores.

Hoy se utilizan diferentes tecnologías en la producción de las celdas fotovoltaicas con el fin de aumentar su producción y reducir su coste. [5]



Figura N°2. Célula fotovoltaica

Fuente: <https://www.google.com.pe/search?q=celula+fotovoltaica>

2.2.4.2. Que es un Panel fotovoltaicos

Al grupo de células fotoeléctricas o celdas fotovoltaicas se le conoce como panel fotovoltaico.

Los paneles fotovoltaicos consisten en una red de células conectadas como circuito en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado (usual-mente se utilizan 12V a 36V) a la vez que se conectan varias redes como circuito paralelo para aumentar la corriente eléctrica que es capaz de proporcionar el dispositivo. [6]

La eficiencia de conversión media obtenida por las células disponibles comercialmente (producidas a partir de silicio monocristalino) está alrededor del 16%. La vida útil media a máximo rendimiento se sitúa en torno a los 25 años, período a partir del cual la potencia entregada disminuye. [6]

El tipo de corriente eléctrica que proporcionan es corriente continua, por lo que si necesitamos corriente alterna o aumentar su tensión, tendremos que añadir un inversor y/o un convertidor de potencia. [6]



Figura N°3. Panel solar fotovoltaico

[fuente:https://www.google.com.pe/search?q=celula+fotovoltaica &biw](https://www.google.com.pe/search?q=celula+fotovoltaica &biw)

a) Tipos de paneles fotovoltaicos

Tabla 1. Tipos de paneles fotovoltaicos

CÉLULAS	RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN
Monocrystalino	24 %	15-18%	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí.	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con fosforo
Policristalino	19-20%	12-14%	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización
Amorfo	16%	10%	Tiene un color homogéneo (marrón) pero no existe conexión visible entre células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico

Fuente: Energía solar fotovoltaica

2.2.4.3. Sistema de almacenamiento

El sistema de almacenamiento en un sistema fotovoltaico está formado por un conjunto de baterías, generalmente de plomo-ácido, que almacenan la energía eléctrica generada durante las horas de radiación, para su utilización posterior en los momentos de baja o nula insolación. [7]

Una de las características más importante de un batería en una instalación fotovoltaica es el ciclado. El ciclado diario se refiere a que la batería se carga en el día y se descarga en la noche. Superpuesto a este ciclo diario está el ciclo estacional que se asocia a periodos de reducida incidencia de radiación. Estos ciclos conjuntamente con otros parámetros de operación como temperatura ambiente, corriente, etc.; inciden sobre la vida útil de la batería y sus requisitos mantenimiento. [7]

a) Tipos de baterías

Tabla 2. Tipos de baterías

SLI	Las baterías para automóviles, referidas como SLI (Starting, Lighting, Ignition), presentan algunas otras ventajas. Son las baterías más baratas cuando se las compara en términos de capacidad nominal, generalmente se producen localmente y están ampliamente disponibles en todos los mercados.
SLI modificada	Existe un procedimiento mediante el cual se varían algunas características del diseño de la batería SLI, permitiendo alargar la vida útil de la misma sin alterar su funcionamiento. Las modificaciones más comunes son: introducir placas más gruesas y una mayor cantidad de electrolito en el espacio sobre las placas
SLI bajo mantenimiento	Otro tipo de baterías SLI son las llamadas de bajo mantenimiento, comercializadas a veces como baterías libres de mantenimiento, que emplean aleaciones de plomo y calcio en las rejillas. El calcio aumenta el voltaje a que se inicia el gaseo, reduciendo la cantidad de agua que consume la batería,
VRLA	En estas baterías los gases generados durante el ciclado pueden ser parcial o totalmente recombinados, lo que permite que la caja de la batería sea hermética lo que las hace más resistentes a las descargas profundas.
AGM	Este tipo de baterías usan electrolito de ácido y agua, pero con un grado de saturación menor que el electrolito líquido. Algunas de sus características ventajosas son: toleran más abuso que las demás baterías herméticas, debido a que tienen un grado de recombinación de los gases de carga algo superior al 99%;
TUBULARES	Son las baterías de mejor calidad para uso fotovoltaico, están hechas con placas tubulares y rejillas con bajo contenido de Sb-Se. Con este tipo de baterías pueden alcanzarse vidas útiles de más de ocho años, con PDD = 0,2 y frecuencias de mantenimiento entre 1 y 2 veces al año.
Ni Cd	Este tipo de baterías usan un diseño conocido como “placas con bolsillos”. Las placas son de acero inoxidable con depresiones donde se coloca el material activo. Electrolito que se usa en este caso es una solución de agua con hidróxido de potasio con una fina capa de aceite en la superficie superior.

Fuente: Energía solar fotovoltaica

2.2.4.4.Reguladores de carga

La función básica de este dispositivo es prevenir descargas y sobrecargas de la batería. Se emplea además para proteger las cargas en condiciones extremas de operación y brindar información al usuario. La función de regulación de carga idealmente debería depender directamente del estado de carga en la batería. Actualmente existen dispositivos que permiten realizar esta función, pero son complejos y su elevado costo limita su uso en sistemas FV domésticos. Los reguladores que se emplean generalmente atienden el voltaje de la batería. [7]

2.2.4.5.Sistema de adaptación de corriente (inversor)

Su función es adecuar las características de la energía generada a las demandadas por las aplicaciones de la instalación. Un sistema de conmutación electrónico, llamado inversor, transforma la corriente continua de las baterías en corriente alterna. [7]

Las principales características que deben considerarse para el dimensionamiento del inversor son:

- La tensión de entrada.
- Máxima potencia que puede manejar.
- Margen de sobrecarga permisible.
- Potencia, tensión y forma de la onda de la salida
- Frecuencia de trabajo y máximo error de frecuencia.
- Eficiencia de transformación (generalmente cercana al 85%)

2.2.5. Definición de un Biodigestor

2.2.5.1. Biomasa

Este término hace referencia a toda materia orgánica proveniente de desechos de animales (estiércol), desechos forestales, provenientes agricultura, aserraderos y RS (Basura, agua residual y desechos urbanos) que pueden ser transformados en energía [8].

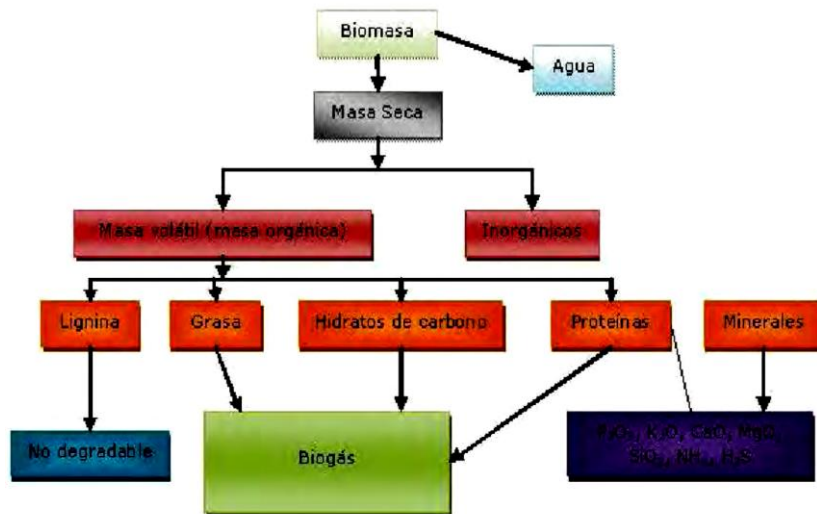


Figura N°4. Composición de la biomasa

Fuente: Informe complementario a estudio de soluciones viables para el aprovechamiento del biogás.

2.2.5.2. Clasificación de la biomasa

Con un punto de análisis sobre el origen de la obtención existe la biomasa primaria la cual está constituida por vegetales, estos pueden ser transformados por otros seres vivos que se nutren de ellos para la generación de la denominada Biomasa animal o biomasa de residuos animales. Además, diversas actividades con biomasa animal y vegetal generan subproductos los cuales se pueden tener en cuenta con los residuos sólidos generados por la urbe [8].

Por el método de obtención la biomasa puede clasificarse sencillamente como natural y residual.

- Biomasa Natural

Se encuentra de manera libre y espontánea en la naturaleza la intervención del es nula.

- Biomasa Residual

Procede de actividades realizadas por el hombre, como trabajos industriales, ganaderos, agrícolas y demás.

Biomasa residual Seca: Procede de recursos generados en las actividades agrícolas, forestales. También se produce este tipo de biomasa por residuos Urbanos, en procesos de la industria agroalimentaria y de la industria de transformación de la maderera. Dentro de este tipo de Biomasa, se puede diferenciar la de origen forestal y la de origen agrícola. [8]

Biomasa Residual húmeda: Procede de vertidos biodegradables formados por aguas residuales urbanas e industriales y también de los residuos ganaderos. [8]

2.2.5.3. Tipo de biomasa

Residuos Industriales

Estos residuos engloban los desechos de industrias que laboran con material orgánico.

- Residuos industriales agrícolas y forestales (Piscicultura, etc).
- Residuos industriales agroalimentarios (Industria de Bebidas y demás industrias alimentarias). [8]

Residuos Urbanos

Desechos generados diariamente por el consumismo y utilización de materias en las ciudades (Ciudades y poblados) [8].

- Aguas residuales industriales y urbanas.
- Residuos sólidos Urbanos (Basura y residuos sólidos municipales orgánicos).
- Cultivos energéticos.

Residuos Rurales

Material de desecho del trabajo con ganado y de la tierra en zonas rurales (Granjas y Fincas) y de trabajos a fines [8].

- Residuos ganaderos: estiércol y, orín de ganado (Vacuno, porcino, equino, aves) y purines.
- Residuos agrícolas: cascaras de diversos vegetales, residuos de algodón, fibras de coco, beneficio del café.
- Residuos forestales: Hojas y ramas de árboles.

2.2.5.4. Biodigestión

El proceso de Biodigestión es un proceso biológico de fermentación natural en el que una comunidad entrelazada de bacterias cooperan para formar una fermentación estable, autorregulada, la cual se puede dar de dos formas en presencia de oxígeno (Biodigestión Aerobia) y sin la presencia de oxígeno (Biodigestión Anaerobia)". [9]

2.2.5.5. Proceso de Digestión aerobia

Es llevado a cabo por microorganismos que precisan de oxígeno atmosférico o disuelto en el agua. La materia orgánica es fermentada a partir de un aporte energético, dando lugar a una reacción exotérmica. Se obtiene como productos finales CO_2 y H_2O . Esto es, los productos de la digestión se oxidan más y por lo tanto quedan en un nivel energético menor que los productos de la digestión anaerobia. [10]

La digestión rápida de este proceso conlleva a la producción de biomasa útil (fango) los cuales sirven de fertilizante orgánico sólido o compost (Nitratos y fosfatos). [10]

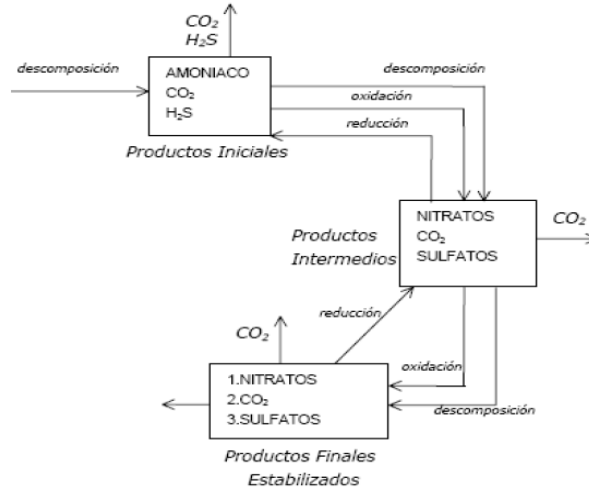


Figura N°5. Proceso de Digestión aerobia

Fuente: Informe complementario a estudio de soluciones viables para el aprovechamiento del biogás.

2.2.5.6. Proceso de Digestión anaerobia

Se desarrolla en ausencia de oxígeno molecular y precisa menor aportación energética, pero requiere mayor tiempo de reacción, lo que genera baja cantidad de biomasa (Fertilizante orgánico líquido y sólido). La degradación de materia orgánica a productos como CO₂, NH₄, CH₄ (Biogás), y biomasa, eventualmente H₂S (altamente corrosivo). [10]

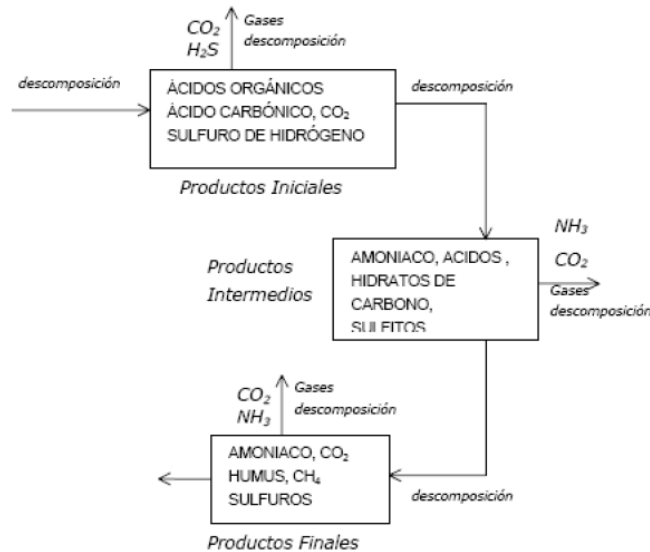


Figura N°6. Proceso de Digestión anaerobia

Fuente: Informe complementario a estudio de soluciones viables para el aprovechamiento del biogás.

Las fases del proceso anaerobia son las siguientes:

a) Hidrolisis

La materia cruda entra en el digester en moléculas grandes (sustratos de proteínas, glúcidos, lípidos) y mediante la acción de bacterias y enzimas se degradan a formas más simples, es decir se hidrolizan, como aminoácidos, azúcares, ácidos grasos y alcoholes. [9]

Ejm: Hidrolisis enzimática.



El grado de hidrolisis y la velocidad del proceso dependen de muchos factores entre otros del pH, de la temperatura, del tipo de materia orgánica, y del tamaño de la partícula. [9]

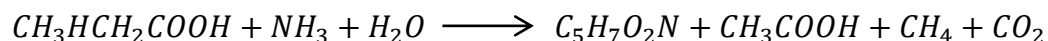
b) Acido génesis

En esta fase los productos de la etapa de hidrolisis son transformados en ácidos de cadena corta (ácido acético, propiónico, butírico) y alcoholes; es importante el ácido acético el cual da origen al 70% de la producción de metano. El consumo de oxígeno por parte de las bacterias y enzimas que generan esta transformación producen el ambiente anaerobio ideal para el desarrollo de las bacterias estrictas (no crecen en presencia de oxígeno molecular) generando un crecimiento más rápido de bacterias. [9]

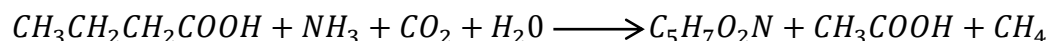
No habrá prácticamente reducción de la DQO (demanda química de oxígeno) del sustrato, puesto que las cadenas orgánicas más complejas se transforman en cadenas más corta, sin consumo o reducción de la materia orgánica presente. Hay una pequeña disminución de la DQO por el fenómeno de respiración bacteriana. [10]

Ejm:

Acetogénesis Propiónico



Acetogénesis Butírica



c) Metanogénesis

Esta etapa es la más importante del proceso, en esta se lleva a cabo la producción de CH_4 y CO_2 . Las bacterias metanogénicas consumen los residuos de las bacterias acetogénicas y los ácidos acéticos para que a través de la digestión de estos segreguen el biogás. El 70 % del metano

producido durante el proceso bioquímico de la digestión anaeróbica se obtiene a partir del acetato que proviene del ácido acético, mientras que un 15 % es derivado del propionato y un 15% entre butirato y otros compuestos. En esta fase se ha de tener estricto control de los parámetros de pH, un elevado ambiente ácido o una alta cantidad de hidrogeno generaría una baja producción de biogás. [9]

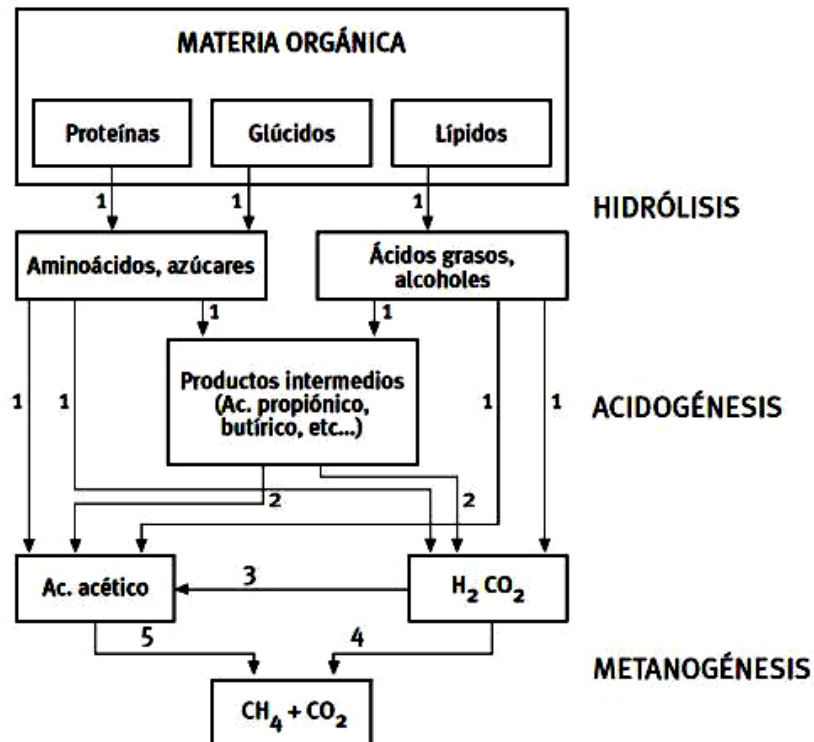


Figura N°7. Procesos por la cual pasa la materia orgánica

Fuente: Tratamiento anaeróbico de efluentes críticos con captación de biogás para la reducción de gases de efecto invernadero

2.2.6. Tipos de Biodigestores

2.2.6.1. Biodigestores de Domo Flotante (Indio)

En su parte superior Presenta una campana o domo que se mantiene flotando a causa del biogás que retiene en su interior. Esta campana sube y baja dependiendo de la presión y del volumen del gas en su interior (por ende, la presión dentro del domo se mantiene constante), cuenta con rieles laterales y guías que evitan el rozamiento de las paredes. El material del domo es preferentemente de material resistente a la corrosión, pero puede ser de metal. Normalmente se construye la pared del reactor y el fondo de ladrillo o refuerzo en hormigón. [11].

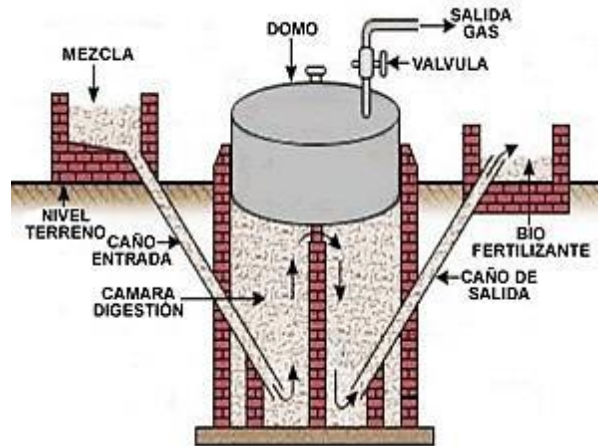


Figura N°8. Biodigestores de Domo Flotante

Fuente: <https://energiasera.wordpress.com/2009/09/17/clasificacion-de-biodigestores/>

2.2.6.2. Biodigestores de Domo Fijo (Chino)

Este modelo está muy difundido en china, es un digestor de cúpula fija en forma cilíndrica, sometida a presión de gases. Tienen un diseño básico en el que el biogás es recolectado en una cúpula fija e inmóvil, completamente cerrado donde se almacenan el biogás. Durante la producción de biogás, la masa de fermentación es desplazada hacia el tanque de presión del gas es variable. Con las constantes oscilaciones de la masa de fermentación en la parte superior de la cúpula se evita la formación de capa flotante. [9]

El digestor es enterrado lo que favorece el proceso de fermentación, su estructura puede ser de hormigón, de ladrillo, bloques y adobes. La estructura es fija y por ende la presión es dependiente de la masa dentro de ella. [12]

2.2.6.3. Biodigestor Tipo Salchicha/CIPAV/Taiwán/Tubular.

La alta inversión que pedía construir un biodigestor de estructura resultaba una grave limitante para los pequeños granjeros por sus bajos ingresos. Esto motivó a unos ingenieros Taiwaneses en los años sesenta a diseñar biodigestores con materiales flexibles más baratos, locales y accesibles. Primero se utilizó nylon y neopreno, sin embargo; estos demostraron ser algo costosos. Un paso mayor en los setenta era combinar PVC con el residuo de las refinerías de aluminio produciéndose así "el barro rojo PVC", y de ahí fue reemplazado por polietileno más barato y es el que se usa mayormente en América Latina, África y Asia. Desde 1986, el Centro para la Investigación en Sistemas Sustentables de Producción Agrícola (CIPAV), ha estado recomendando biodigestores de plástico económico como la tecnología apropiada por optimizar el uso de excrementos pecuarios, reduciendo con ello presión en otros recursos naturales. [13]

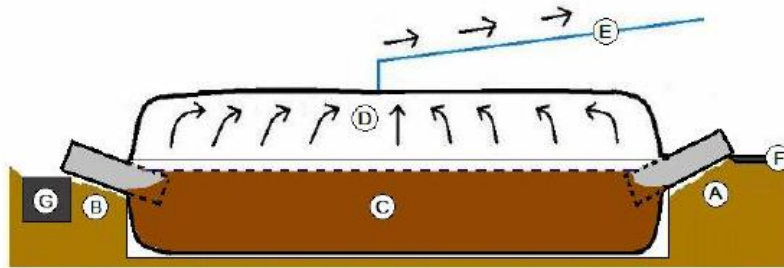


Figura N°9. Biodigestor Tipo Salchicha/CIPAV/Taiwán/Tubular
Fuente: Biodigestor de polietileno: construcción y diseño

Este biodigestor presenta los siguientes componentes:

Tubo de entrada: es un tubo de plástico de 20 a 30cm de diámetro, que se utiliza para la inserción de materia orgánica y se dirige hacia adentro del reactor 15 cm de profundidad. [13]

Bolsa de almacenamiento: Es el principal componente del biodigestor, el reactor, una bolsa en la que se almacena la materia orgánica y se dan los procesos de fermentación. Su tamaño varía dependiendo de la cantidad de material a fermentar, sin embargo, este no puede ser muy grande, si hay necesidad de procesar mucho material, se procederá a conectar cámaras múltiples ya que no se pierde el área superficial eficiente necesaria, aunque puede resultar más costoso quitándole a este modelo su atractivo económico. El biodigestor debe estar aislado y contener un sistema de calentamiento y agitación. Para calentarse se recubre por encima de 60 cm con una estructura simple de plástico a modo de invernadero, ello prevendrá de cambios drásticos de temperatura y la mantendrá en el nivel deseable, así como también la construcción de una pared de tierra a los costados para evitar el enfriamiento del biodigestor, o semi-enterrarlo para el mismo fin, dependiendo de las condiciones del suelo. El gas producido por el digestor puede almacenarse en un espacio añadido al digestor o conducirse independientemente a otra instalación de almacenamiento, cerca de la cocina, calefactor a usarse. [13]

Tubo del afluente: el diámetro de este tubo plástico debe ser entre 10 a 15 cm, localizado por debajo del tubo de entrada en el lado opuesto del digestor, generando así una pendiente que proporcione el gradiente necesario para que fluya naturalmente y con facilidad a la hora de descargar el producto digerido, y también sumergido por debajo de 15 cm del fermentador, para así prevenir el escape de gas a la hora de descarga. [13]

Tubo de metano: este tubo, se ubica en la parte superior de la bolsa de almacenamiento de metano, de 5 cm de diámetro, se utiliza para transportar el biogás a su lugar de uso, el tubo debe estar conectado a una salida sumergida en agua para que absorba la humedad condensada producto de la metanogénesis y también es importantísimo que se conecte a un

filtro absorbente de sulfuro de hidrógeno (producto también de la metanogénesis) que puede ser de virutas de hierro y u otros materiales.[13]

Dispositivo de seguridad: se utiliza para prevenir la ruptura del fermentador ocasionada por las presiones altas del gas generado de la fermentación anaeróbica. Consiste en una botella plástica de al menos 10 cm de profundidad insertada al tubo de salida, cuando la presión del digestor es mayor a la del agua (ósea, la presión mayor a 10cm de agua), se liberará el gas.[13]

Tubo de limpieza: el lodo sedimentado en el fondo del biodigestor debe ser removido cada dos años, está la tubería sirve para evacuar estos lodos por bombeo.[13]

2.2.7. Biogás

El termino biogás incluye una mezcla de gases producidos a lo largo de las múltiples etapas del proceso de descomposición de la materia orgánica y en las que intervienen una población heterogénea de microorganismos. Fundamentalmente el biogás está compuesto por metano y por dióxido de carbono, mezclado en menor proporción con distintos gases.[13]La producción de biogás varía en función de la carga orgánica y de la biodegradabilidad de la misma.

2.2.7.1. Composición Media de Biogás

En general, los residuos industriales y la fracción orgánica de RSU presentan potenciales elevados de producción mientras que los residuos ganaderos y los lodos de depuradora presentan potenciales menores puesto que estos últimos contiene bajo contenido orgánico y son de difícil digestión. Una manera de aumentar la producción radica en la codigestión, un pretratamiento de la biomasa y un buen manejo de la temperatura para la mejora de la velocidad de crecimiento de los microorganismos.[13]

El biogás es un combustible formado sustancialmente por los siguientes gases:

Tabla 3. Compuestos del Biogás (%)

Compuestos del Biogás (%)	
Metano, CH_4	50-70
Dióxido de Carbono, CO_2	25-45
Vapor de Agua, H_2O	1-2
Monóxido de Carbono, CO	0-0,3
Nitrógeno, N_2	1-5
Hidrogeno, H_2	0-3
Sulfuro de Hidrógeno, H_2S	0,1-0,5
Oxígeno, O_2	0,1-1,0

Fuente: Manual de usuario de la Tecnología del biogás

Tabla 4. Componentes del Biogás en función del Substrato Utilizado

Componentes del Biogás en función del Substrato Utilizado				
Componentes	Resd. Agrícolas	Lodos de Depuradora	Resd. Industriales	Gas de Vertedero
Metano	50-80%	50-80%	50-70%	45-65%
Dióxido de carbono	30-50%	20-50%	30-50%	34-55%
Agua	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrógeno	0-2%	0-5%	0-2%	0-1%
Sulfuro de Hidrógeno	100-700 ppm	0-1%	0-8%	0,5-100 ppm
Amoniaco	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
Monóxido de Carbono	0-1%	0-1%	0-1%	Trazas
Nitrógeno	0-1%	0-3%	0-1%	0-20%
Oxigeno	0-1%	0-1%	0-1%	0-5%
Compuesto Orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	5 ppm

Fuente: Manual de usuario de la Tecnología del biogás

2.2.8. Factores que afectan la producción de Biogás

La producción de biogás es función de muchos factores, siendo quizás uno de los principales la fuente de obtención (estiércol de bobino o de porcino), esto hace difícil la comparación de resultados. [14]

A. Temperatura

Su importancia radica en la relación que conlleva con la velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas. Estas incrementan normalmente cuando se eleva la temperatura. La digestión anaeróbica es posible en tres rangos de temperatura. [14]

- Zona Psicrófila: por debajo de 20°C
- Zona Mesófila: Entre 20°C y 40°C
- Zona Termófila: Por encima de los 40°

La temperatura de la zona de trabajo es esencial además para el ritmo de producción de metano, es por esto que trabajar en la zona termófila aumenta la velocidad de producción de biogás además de asegurar la higienización del digestor, se destruyen patógenos, se esterilizan semillas, se eliminan larvas y huevos de insectos. En la costa de Perú la temperatura promedio es de 23°C en la costa en invierno (Senamhi) por lo que la puesta en funcionamiento del digestor se debe realizar en la zona mesófila. [14]

B. pH

Debido al efecto Buffer Producido por el bicarbonato-dióxido de carbono y amonio –amoniacal la estabilización de pH se genera esencialmente por el proceso en sí. Una vez estabilizado el proceso de fermentación el pH se mantiene en valores de 6,5 a 8. [15]

Este uno de los parámetros de control más importantes, si el pH varía extremadamente fuera de estos valores se sufre una baja en la producción de metano. Como se mencionó antes la estabilidad del pH no es problema, esto si la carga orgánica-biomasa es excremento animal, en caso de la presencia de vegetales los valores de pH sufren una baja drástica. [16]

“Los valores de pH pueden ser corregidos y así mantenerlo dentro del rango adecuado para el proceso de fermentación. Cuando el pH es alto se puede sacar frecuentemente una pequeña cantidad de efluente y agregar materia orgánica fresca en la misma cantidad o bien si, el pH es bajo se puede agregar fertilizante, cenizas o agua amoniacal diluida...” [14]

C. Tiempo de retención

El tiempo necesario para la estabilización de los fangos es función de la temperatura del digestor. “se sabe que los digestores podrán funcionar con tiempo de retención del líquido próximo a los dos días, siempre que el tiempo de retención de los volátiles sea superior a un cierto valor crítico. Este tiempo crítico de retención de los sólidos es el periodo de los gérmenes mecánicos indispensables, los cuales como se sabe, tienen un crecimiento muy lento.” [17]

Las bacterias requieren de un lapso de tiempo para degradar la materia orgánica. El tiempo de retención es la relación entre el volumen del biodigestor y la carga diaria de alimentación.

Existen dos tipos de tiempo de retención

- Tiempo de retención Hidráulico (TRH)
- Tiempo de retención de Sólidos (TRS)

Normalmente el tiempo de retención corresponde al tiempo de retención del líquido dentro del digestor. [9]

Finalmente el ciclo digestivo es más rápido a mayores temperaturas; la degradación se incrementa en forma geométrica con los aumentos de la temperatura de trabajo. [18]

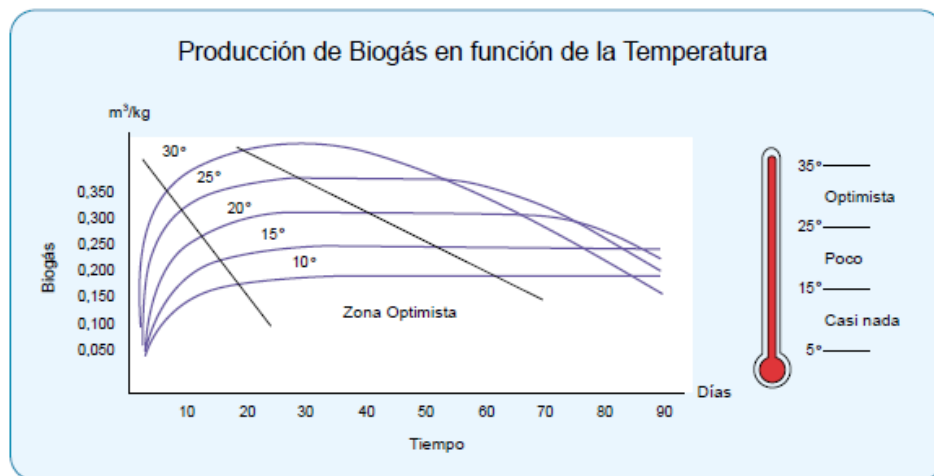


Figura N°10. Efecto de la temperatura y tiempo de retención sobre la producción de gas
Fuente: Manual de biogás

D. Concentración:

Toda materia está compuesta por agua y una fracción de sólida, a la que se le llama sólidos totales. En la decantación primaria, se consigue reducir con facilidad un 30% de DBO y un 60% de sólidos en suspensión en el agua. El fango residual puede llegar a contener entre 1 y 10% de sólidos. [17]

La cantidad de sólidos óptima oscila entre el 5% a 12%.

2.2.9. Almacenamiento del Biogás

La variación de producción de gas en los digestores se amortigua mediante depósitos de almacenamiento (gasómetros), que pueden ser de diversos tipos, y baja, media o alta presión. [17]

- Gasómetro de baja presión. entre los más utilizados están los de cúpula o campana flotante sobre depósito de agua, puede alcanzar volúmenes de almacenamiento importantes, aunque no suele sobre pasar los 1500 m^3 . La presión normalmente no supera los 50 mbar. [17]
- Una opción muy importante, factible, y también muy utilizada para el almacenamiento de biogás son el gasómetro hinchable. [17]
- Tanques de gas de media y alta presión, son los mismos tanques que se utilizan para almacenar cualquier gas. Se consideran de media presión hasta 8-10 bares, con compresores de una etapa. A presiones superiores se necesita compresores de varias etapas. [17]

2.2.10. Filtro de ácido sulfhídrico

La necesidad y tipo de tratamiento depende de la composición del biogás y del uso que se le vaya a dar. El biogás contiene ácido sulfhídrico que puede ser corrosivo y dióxido de carbono que puede suponer el 40- 60% en el volumen. [17]

En el proceso de eliminación de H_2S se cuenta con métodos que varían por el contenido de este compuesto.

A) Proceso de absorción

Este proceso se usa para el tratamiento de gases que contiene relativamente bajas concentraciones de H_2S , se agrega agua con ciertos químicos como el NaOH. La absorción química del H_2S puede tener lugar con soluciones de sales de hierro tales como cloruro de hierro. El proceso se basa en la formación de precipitados insolubles. [17]

B) Adsorción en una superficie solida

La adsorción química se puede llevar a cabo utilizando pellets de óxido de hierro como adsorbente. El biogás pasa a través del óxido de hierro, el cual al reacciona con él forma sulfuro de hierro. Este tratamiento tiene una eficiencia de limpieza superior al 99,98%. [17]

C) Proceso de Oxidación seca

Este proceso se usa cuando el contenido de sulfuro del gas es relativamente bajo y se requiere una alta pureza. Consiste en introducir aire/ hidrogeno dentro del sistema de biodigestor. Este es un proceso simple y de bajo costo, no se necesitan químicos ni equipamientos especiales. La concentración de H_2S se puede reducir en un 95%. [17]

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Diseño de investigación

3.1.1. Hipótesis

El diseño de un sistema híbrido fotovoltaico-biodigestor para una futura producción de energía eléctrica y biogás a partir de la energía solar y desechos ganaderos servirá para la utilización en artefactos eléctricos y el alumbrado público de las viviendas del caserío Pósope Bajo Pátapo; esto reducirá costos en la obtención de energía y gas propano y al mismo tiempo reducirá la emisión de carbono en la generación de la energía limpia mediante los paneles solares y el biogás.

3.1.2. Ubicación

La instalación del sistema híbrido fotovoltaico-biodigestor que ocupara este proyecto va a estar situada en el Caserío Pósope bajo-Pátapo.

- Distrito: Pátapo
- Provincia: Chiclayo
- Región: Lambayeque
- Ubigeo: 140117
- Altitud 81msnm



Figura N°11. Ubicación del sistema híbrido

Fuente: PlanManejoResiduosSólidosDistritoPátapoChiclayo.pdf

3.1.3. Clima

Semi cálido y escasas precipitaciones, las temperaturas diurnas alcanzan los 38 grados centígrados en verano (diciembre a abril), disminuyendo en los meses de invierno (junio a septiembre) a 23 y 26 grados centígrados y 15 grados durante las noches. La temperatura máxima registrada fue durante el año 2001, donde esta se elevó sobre los 40 grados centígrados bajo sombra.

3.1.4. Datos meteorológicos y ambientales

La tabla muestra los valores de la radiación normal en el distrito de Pátapo cuyas coordenadas son Latitud sur: 6° 43' 4,7" S y Latitud oeste: 79° 39' 30,2" W.

Tabla 5. Radiación mensual del Caserío Pósope bajo-Pátapo

Lat -6,718	Lon -79,658	Temperatura °C	Radiación
Enero		27,7	5,11
Febrero		26,8	4,61
Marzo		27,3	5,21
Abril		27,8	5,01
Mayo		27,3	4,88
Junio		26,3	4,51
Julio		25,9	4,35
Agosto		27,1	4,5
Septiembre		28,5	5,03
Octubre		29,2	5,33
Noviembre		28,6	5,57
Diciembre		28,4	5,52
Anual	Promedio	27,6	4,97

Fuente: Base de datos de la radiación de la NASA

Se observa que el resultado medio anual es de 4,97 kWh/m² lo multiplicamos por 365 días obteniendo una irradiación solar anual de 1814,05 kWh/m² que no es un valor que está por encima de los 2000 pero es un valor muy cercano, el valor que nos da la página del ministerio de energía y minas del Perú es de 5,5 kWh/m² con una irradiación anual de 2007,5 kWh/m², pero trabajaremos con el primero ya que tenemos los datos de la radiación mensuales también se desarrollara un estudio para verificar la viabilidad de este proyecto.

3.1.5. Variables

Tabla 6. Tipos de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO -BIODIGESTOR	Fotovoltaico	Número de paneles
			Número de baterías
			Número de reguladores
			Cálculo de la radiación
		Biodigestor	Dimensiones del contenedor
			Dimensiones de la tubería
			Cantidad de biomasa
			Temperatura y tiempo de fermentación
			Presión
VARIABLE DEPENDIENTE	PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA		

Fuente: Elaboración propia

3.1.6. Población y muestra

Este estudio se centra en el diseño de un Biodigestor y en la generación de Biogás a partir de este. Con este fin la ejecución se realizará en el Caserío Pósope bajo Pátapo. Centro del cual se recolecta la biomasa y se instalara el biodigestor.

Este estudio no cuenta con una muestra, puesto que la instalación del biodigestor es en una ubicación determinada en el Caserío Pósope bajo Pátapo y se trata de una investigación centrada en la recolección de datos.

3.1.7. Métodos y técnicas de recolección de datos

Las variables deben ser medidas, monitoreadas y por lo tanto controladas en la planta de generación de biogás (metano), las medidas se deben realizar con técnicas confiables que posean menor error de medición también se requieren de instrumentos calibrados o verificados de modo de asegurar la exactitud de las mismas.

3.1.8. Técnicas de procesamiento de datos

Con el digestor puesto en funcionamiento se controlarán las variables de entrada.

Se recolectaron los datos de temperatura, masa, pH a través de tablas y analizados a través de ensayos de químicos realizados en laboratorios de los cuales se obtuvieron informes de laboratorio.

3.2. Metodología

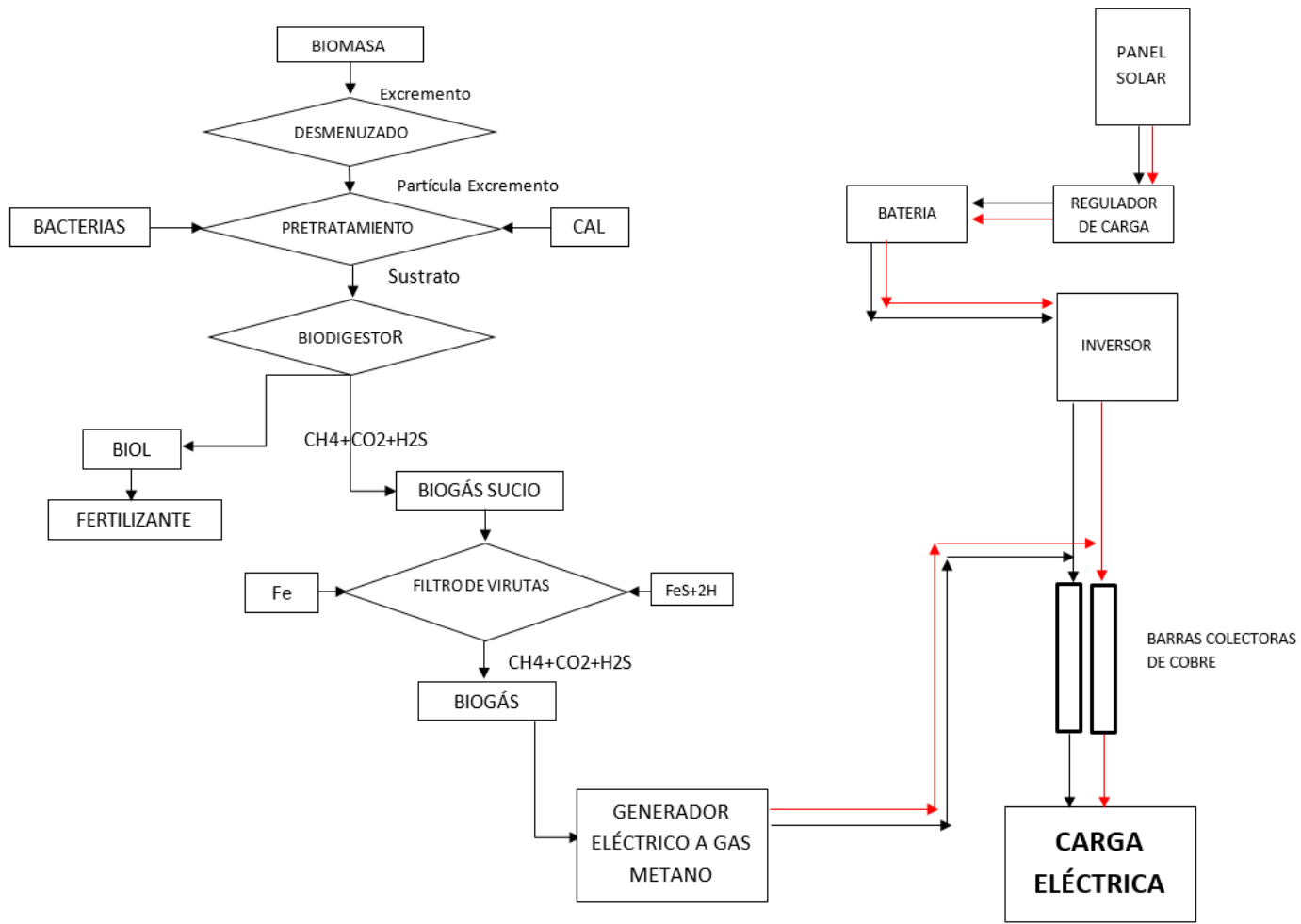


Figura N°12. Diagrama de flujo del proceso del sistema híbrido para la generación de energía eléctrica

Fuente: Elaboración propia

IV. RESULTADOS

4.1. Analizar y determinar de acuerdo a proyección de la demanda el consumo de energía eléctrica en el Caserío Pósope Bajo-Pátapo

4.1.1. Cálculo de energía a consumir por vivienda

Según OSINERMINING La energía eléctrica que consume un artefacto eléctrico (kW-h) se calcula con la siguiente formula:

$$EC = P \times H \times 30$$

EC= Energía consumida por artefacto por día (kW h)

P = Potencia del artefacto (W-kW)

H= Tiempo que esta prendido el artefacto eléctrico (h)

Con esta tabla se procura saber el consumo de energía total diaria y la energía total mensual en las luminarias de las 8 viviendas que habitan en lugar.

Tabla 7.Promedio mensual de energía consumida por luminarias

VIVIENDAS	CANTIDAD DE LUMINARIA	POTENCIA POR LUMINARIA(Watt)	POTENCIA TOTAL (watt)	HORAS AL DIA	DIAS	ENERGIA TOTAL DIARIA	ENERGIA TOTAL DIARIA	ENERGIA TOTAL AL MES	ENERGIA MENSUAL CONSUMIDA POR LAS LUMINARIA
	CL	W	W	H	D	W-h	kW-h	W-h	kW-h
CASA 1	4	20	80	6	30	480	0,48	14400	14,4
CASA 2	5	20	100	6	30	600	0,6	18000	18
CASA 3	4	20	80	6	30	480	0,48	14400	14,4
CASA 4	3	20	60	6	30	360	0,36	10800	10,8
CASA 5	5	20	100	6	30	600	0,6	18000	18
CASA 6	3	20	60	6	30	360	0,36	10800	10,8
CASA 7	4	20	80	6	30	480	0,48	14400	14,4
CASA 8	3	20	60	6	30	360	0,36	10800	10,8
TOTAL			620			3720	3,72	111600	111,6
PROMEDIO MENSUAL DE ENERGIA CONSUMIDA POR LUMINARIAS (kW-h)									111,6

Fuente: OSINERMINING- Elaboración propia

Con esta tabla se pretende saber el consumo de energía total diaria y la energía total mensual en los diferentes tipos de artefactos de las 8 viviendas que habitan en lugar.

Tabla 8. Promedio mensual de energía consumida por artefactos

VIVIENDAS	ARTEFACTOS	POTENCIA (Watt)	HORAS AL DIA	DIAS	ENERGIA TOTAL DIARIA	ENERGIA TOTAL DIARIA	ENERGIA TOTAL AL MES	ENERGIA TOTAL MENSUAL	ENERGIA MENSUAL CONSUMIDA POR EL ARTEFACTO
	TIPOS	W	H	D	W-h	kW-h	W-h	W-h	kW-h
CASA N° 1	Televisor	120	3	30	360	0,36	10800	23547	23,547
	Licuadora	300	0,166	15	49,8	0,0498	747		
	Plancha	1000	1	12	1000	1	12000		
CASA N°2	Televisor	120	4	30	480	0,48	14400	22220	22,22
	Plancha	1000	0,5	15	500	0,5	7500		
	DVD	20	2	8	40	0,04	320		
CASA N°3	Televisor	120	3	20	360	0,36	7200	10197	10,197
	Licuadora	300	0,333	30	99,9	0,0999	2997		
CASA N°4	Licuadora	300	0,166	10	49,8	0,0498	498	1998	1,998
	Ventilador	50	1	30	50	0,05	1500		
CASA N°5	Televisor	120	3	30	360	0,36	10800	32298	32,298
	Licuadora	300	0,166	10	49,8	0,0498	498		
	Refrigeradora	350	2	30	700	0,7	21000		
CASA N°6	Licuadora	300	0,166	15	49,8	0,0498	747	5727	5,727
	Plancha	1000	0,166	30	166	0,166	4980		
CASA N°7	Televisor	120	3	30	360	0,36	10800	33000	33
	DVD 20W	20	2	30	40	0,04	1200		
	Refrigeradora	350	2	30	700	0,7	21000		
CASA N°8	Televisor	120	3	22	360	0,36	7920	7920	7,92
TOTAL		6010			5775,1	5,7751			136,907
PROMEDIO MENSUAL DE ENERGIA CONSUMIDA POR ARTEFACTOS (kW-h)									136,907

Fuente: OSINERMING- Elaboración propia

Con esta tabla se pretende saber el consumo de energía total diaria y la energía total mensual en alumbrado público en el lugar.

Tabla 9. Promedio mensual de energía consumida por alumbrado público

CANTIDAD DE POSTES	POTENCIA (Watt)	HORAS AL DIA	DÍAS	ENERGIA TOTAL DIARIA	ENERGIA TOTAL DIARIA	ENERGIA TOTAL AL MES	ENERGIA MENSUAL CONSUMIDA POR POSTE
	W	H	D	W-h	kW-h	W-h	kW-h
POSTE 1	50	12	30	600	0,6	18000	18
POSTE 2	50	12	30	600	0,6	18000	18
TOTAL	100			1200	1,2	36000	36
PROMEDIO MENSUAL DE ENERGIA CONSUMIDA POR ALUMBRADO PUBLICO							36

Fuente: OSINERMING- Elaboración propia

Con esta tabla se pretende saber el consumo de energía total diaria y la energía total mensual en las bombas de agua que utilizan en el lugar.

Tabla 10. Promedio mensual de energía consumida por bombas de agua

BOMBAS	CANTIDAD	POTENCIA (Watt)	POTENCIA TOTAL (Watt)	HORAS AL DIA	DIAS	ENERGIA TOTAL DIARIA	ENERGIA TOTAL DIARIA	ENERGIA TOTAL AL MES	ENERGIA MENSUAL CONSUMIDA POR LAS BOMBAS
	CL	W	W	H	D	W-h	kW-h	W-h	kW-h
BOMBA 1	1	3730	3730	6	15	22380	22,38	335700	335,7
BOMBA 2	1	3730	3730	6	15	22380	22,38	335700	335,7
TOTAL			7460			44760	44,76	671400	671,4
PROMEDIO MENSUAL DE ENERGIA CONSUMIDA POR BOMBAS (kW-h)									671,4

Fuente: OSINERMING- Elaboración propia

Esta tabla se hizo a medida de un resumen total de las energías consumidas por todo el caserío.

Tabla 11. Potencia base total

RESUMEN	POTENCIA TOTAL (W)	POTENCIA TOTAL (kW)	KW-h POR DIA	KW-h POR MES	KW-h ANUAL
EC POR LUMINARIAS	620	0,62	3,72	111,6	1339,2
EC POR ARTEFACTOS	6010	6,01	5,7751	136,907	1642,884
EC POR ALUMBRADO PUBLICO	100	0,1	1,2	36	432
EC POR BOMBAS DE AGUA	7460	7,46	22,38	335,7	4028,4
TOTAL	14190	14,19	33,0751	620,207	7442,48

Fuente: Elaboración propia

La Energía base total es 14,19 kW por día, para ello se piensa desarrollar este sistema híbrido con una potencia de 15 kW por día para abastecer el Caserío Pósope bajo- Pátapo.

4.1.2. Proyección y demanda

Ahora de acuerdo a la **proyección de demanda** en el caserío Pósope Bajo-Pátapo se toman las siguientes variables.

Según el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) el modelo más conocido es:

Población total

$$P = P_o(1 + r)^n$$

Po= Población total inicial

r = tasa de crecimiento

n= año cero (año actual de referencia de la proyección)

En este cuadro se encuentra los Indicadores, variables, fuentes de información, en la proyección que se realizará en el Caserío Pósope Bajo - Pátapo se toma los siguientes puntos.

Tabla 12. Indicadores, variables, fuentes de información

ITEM	Indicador	Valor	Fuentes de Información
A	Año de Referencia	2016	Año actual
B	Población Total Inicial	32	Investigación de campo
C	Tasa de Crecimiento	0,01	Registro de INEI
D	Índice de Habitantes por Vivienda	4,0	Registro de INEI
F	Sector Típico	5	Información de la Empresas Concesionaria

Fuente: Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP)

- A. Año de referencia actual
- B. Para la población total inicial se tuvo que realizar una encuesta a todas las viviendas del caserío Pósope bajo - Pátapo y como resultado se obtuvo 32 habitantes en todo el Caserío. (Véase en el Excel adjunto de proyección de la demanda.)
- C. Para obtener la Tasa de Crecimiento fuimos a registros del (INEI) Instituto Nacional de Estadística Informática y es de 1,2% anual según la clasificación distrital por categorías respecto a su participación en la población total de Chiclayo como parte del Censo Nacional de población del 2007 ver anexo.
- D. Índice de habitantes por viviendas es de 4.
- E. De acuerdo a la calificación eléctrica para la elaboración de proyectos de subsistemas de distribución secundaria de acuerdo al RD N° 15-2004-EM/DGE y el tipo de habilitación es para vivienda en vías de regularización (parcial o totalmente edificadas), calificados como Asentamientos Humanos Marginales o Pueblos Jóvenes y su sector de distribución típico es el 5 con 250W de (suministro monofásico) ver anexos.

4.1.2.1. Proyección

Se hizo una proyección para saber más adelante en cuanto incrementan los habitantes y las viviendas a electrificar, desde el año cero el cual es el 2016 al año 2036.

Para los cálculos de la proyección se toma como referencia la siguiente tabla con las descripciones y formulas.

Tabla 13. Proyección de crecimiento

DESCRIPCÓN	NONMBRE CELDA	FORMULAS
Población total	P	$P = P_o(1 + r)^n$
Índice de habitantes por vivienda	IHV	
Viviendas totales	VT	P/IHV
Coefficiente de electrificación	CE	100%
Viviendas a electrificar	AT	VT x CE

Fuente: Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP)

Los cálculos que están en Excel indican que la población total desde el año cero (2016) son 32 habitantes hasta el año veinte (2036) que llegarán a hacer 39 habitantes. (ver anexos)

Tabla 14. Proyección de habitantes del año 2016-2036

Año 2016	Año 2036
32 habitantes	39 habitantes

Fuente: Elaboración propia

Para las viviendas a electrificar totales, desde el año cero (2016) son 8 viviendas hasta el año veinte (2036) que llegarán a hacer 10 viviendas. (ver anexos)

Tabla 15. Proyección de viviendas del año 2016-2036

Viviendas a electrificar	Viviendas a electrificar
8 viviendas	10 viviendas

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2. Demanda

Para la demanda se toma como referencia el anexo N°4 el con los indicadores de la demanda.

Tabla 16.Indicadores de la demanda

Indicador	Nombre de celda	Fuente de información
Número de usuarios por vivienda	N_{uv}	Vivienda a electrificar por cada año
Calificación eléctrica	CE	De acuerdo al sector típico y al tipo de habilitación
Factor de simultaneidad	F_s	

Fuente: Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP)

Con la formula siguiente se obtiene la demanda del caserío Pósope bajo Pátapo.

$$Dm = Nuv \times CE \times Fs$$

Los cálculos que se obtuvieron (Véase en el Excel adjunto de proyección de la demanda.)

La demanda va estar sujeta desde año cero (2016) de 1 kW hasta el año veinte (2036) que va hacer de 1,22 kW.

Tabla 17.Demanda de energía del 2016-2036

Año 2016	Año 2036
1 kW	1,22 kW

Fuente: Elaboración propia

4.2. Analizar y determinar la cantidad de biomasa generado en el Caserío Pósope Bajo-Pátapo.

4.2.1. Cálculo de producción de estiércol por animal

Se enumeran las especies y la cantidad de estiércol que producen cada una a fin de deducir con esto la cantidad de estiércol de alimentación hacia el digestor generado por día.

En el siguiente cuadro mostramos los tipos de especies que se evaluaron en el caserío Pósope bajo Pátapo.

Tabla 18. Tipos de especies de animales

VIVIENDAS	ANIMALES	TIPO DE ANIMALES
CASA 1	6	3 vacas
		3 cerdas madres
CASA 2	2	2 vacas
CASA 3	6	3 cerdas madres
		3 cerdos crías
CASA 4	5	2 vacas
		3 terneras
CASA 5	25	25 Cuyes
CASA 6	9	3 vacas madres
		4 cerdos crías
		2 terneras
CASA 7	20	4 vacas madres
		2 terneras
		12 cuyes
CASA 8	0	0

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el cuadro mostrado solo se seleccionó a dos tipos de especies vacunos y cerdos para el cálculo respectivo de acuerdo al aporte de estiércol diario por especie. Véase en la tabla N°19 el siguiente número de animales seleccionados.

Tabla 19. Cantidad de animales

Animales	Número
Vacas	14
Terneras	7
Cerdas madres	6
Cerdos - crías	6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Aporte de estiércol diario por especie

Índices para determinar la producción de biogás a partir del peso y características de la biomasa				
	Excreta Húmeda(kg/animal)	Biogás (m ³ /día)	Proporción Excreta-Agua	Tiempo de retención aconsejable (día)
Vaca	10	0,360	1:1	40
Toro	15	0,540	1:1	40
Cerdo	2,25	0,101	1:1-3	40
Pollo	0,18	0,108	1:1-8	30
Caballo	10	0,300	1:1-3	30
Carnero	2	0,100	1:1-3	40
Ternero	5	0,200	1:1	40
Persona adulta	0,4	0,025	1:1	60
Cachaza	0,035 kg/kg	0,100	1:4	30
Residual de Matadero	1m ³ de biogás/25 kg de residuos			40
Residual de Destilería	13m ³ de biogás/m ³ de residuos			40
Residual de Levadura	4m ³ biogás/m ³ de residuo			40
Líquido de café	5m ³ biogás/m ³ de residuo			40
Cáscara de café	0,1m ³ biogás/m ³ de residuo			50
Cáscara de café	0,4m ³ biogás/25 kg de materia sea			60

Fuente: Manual para su instalación, operación y utilización.

Para poder calcular la cantidad de Peso, estiércol generado y volumen de biogás generado por día tener como referencia la tabla siguiente.

Tabla 21. Cálculo de estiércol diario

ESTIÉRCOL DIARIO												
Animales	Número(N°)	Peso kg/Animal	Peso vivo total kg	Estiércol generado /100 kg / día	Estiércol total Kg/día	Fracción de masa(f.masa)	Biogás Total m3/día	Tiempo de Retención (TR)	Proporción de agua excreta	Agua en Litros o Kg	Densidad (kg/m3)	Densidad total (kg/m3)
Tipos de animales	Cantidad de animales	P=Peso de cada tipo de animal	Pv= N°(P)	Aporte de estiércol diario por especie	$E_t = (P_v/100)(A)$ aporte de estiércol diario)	$F_m = E_t / S_u$ matoria de estiércol total	$B = E_t$ (Biogas de tabla/Excreta húmeda de tabla de acuerdo al tipo de animal)	De acuerdo al tipo de tabla que se usa	De acuerdo al tipo de tabla que se usa	$H_2O = E_t(Pr)$ oporción de agua excreta)	Está establecida para cada tipo de animal	$D_t = F_m(D)$ ensidad)

Fuente: Manual para su instalación, operación y utilización.

4.2.2. Cálculo de cantidad de residuos orgánicos

Con el potencial de residuos producidos por animal y peso vivo promedio, puede estimarse la cantidad de desechos orgánicos producidos diariamente en el Caserío Pósope Bajo- Pátapo de acuerdo a la tabla N°21 se elabora el siguiente cuadro.

Tabla 22. Estiércol diario

Estiércol diario												
Animales	Número	Peso kg/Animal	Peso vivo total kg	Estiércol generado /100 kg / día	Estiércol total kg/día	Fracción de masa(f.masa)	Biogás Total m ³ /día	TR	Proporción de agua excreta	Agua en Litros o kg	Densidad (kg/m ³)	Densidad total (kg/m ³)
Vacas	14	300	4200	8	336	0,737	12,096	40	1	336	800	589,474
Terneras	7	150	1050	8	84	0,184	3,360	40	1	84	800	147,368
Cerdas madres	6	120	720	4	28,8	0,063	1,293	40	3	86,4	1040	65,684
Cerdos - crías	6	30	180	4	7,2	0,016	0,323	40	3	21,6	1040	16,421
Total					456	1	17,072	40		528		818,947

Fuente: Manual para su instalación, operación y utilización - Elaboración propia

De acuerdo al cálculo obtenido en el cuadro N°27 de la cantidad de residuos producidos por animal, la producción de biomasa de animales en el Caserío Pósope Bajo - Pátapo es de 456 kg/día, la producción de biogás total generado es de 17,072 m³/día y la proporción de agua es de 528 kg.

4.2.3. Composición química del biogás

El biogás es un combustible formado sustancialmente por los siguientes gases que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 23. Compuesto del biogás %

Compuestos del Biogás (%)	
Metano, CH ₄	50-70
Dióxido de Carbono, CO ₂	25-45
Vapor de Agua, H ₂ O	1-2
Monóxido de Carbono, CO	0-0,3
Nitrógeno, N ₂	1-5
Hidrogeno, H ₂	0-3
Sulfuro de Hidrógeno, H ₂ S	0,1-0,5
Oxígeno, O ₂	0,1-1,0

Fuente: Manual de usuario de la Tecnología del biogás

4.2.4. Balance de materiales de los respectivos compuestos a generar energía

- ✓ En el metano CH_4 los compuestos de biogás es de 50% -70% y se toma en un intervalo de 60% CH_4 .
- ✓ Para el hidrogeno H_2 los compuestos de biogás son de 0% - 3% y se toma en un intervalo de 2% H_2 .
- ✓ Para el Oxigeno O_2 los compuestos de biogás son de 0,1% – 1% y se toma en un intervalo de 0,75% O_2 .

$$\left. \begin{array}{l} CH_4=60\% \\ H_2=2\% \\ O_2=0,75\% \end{array} \right\} \text{ Sumando da un total de } 62,75\%$$

De acuerdo al cálculo de residuos orgánicos de la tabla N°27 la producción de biogás generado es de $17,072 \text{ m}^3/\text{día}$ se multiplicará por 62,75 %

$$17,072 \text{ m}^3 \times 0,6275 = 10,71 \text{ m}^3 \left\{ \begin{array}{l} CH_4=10,2432 \\ H_2 =0,3414 \\ O_2=0,1280 \end{array} \right.$$

4.2.5. Cálculo del porcentaje en volumen

$$a) 17,072 \text{ m}^3 \cdot \text{biogas} \times \frac{60 \text{ m}^3 CH_4}{100 \text{ m}^3 \cdot \text{biogas}} = 10,2432 \text{ m}^3 CH_4$$

$$b) 17,072 \text{ m}^3 \cdot \text{biogas} \times \frac{2 \text{ m}^3 H_2}{100 \text{ m}^3 \cdot \text{biogas}} = 0,3414 \text{ m}^3 H_2$$

$$c) 17,072 \text{ m}^3 \cdot \text{biogas} \times \frac{0,75 \text{ m}^3 O_2}{100 \text{ m}^3 \cdot \text{biogas}} = 0,1280 \text{ m}^3 O_2$$

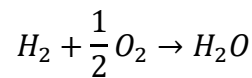
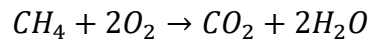
4.2.6. Cantidad de kg del combustible

$$a) 0,656 \frac{kg}{m^3} \times 10,2432 m^3 CH_4 = 6,7195 kg CH_4$$

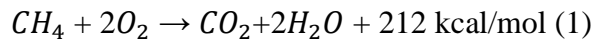
$$b) 0,0899 \frac{kg}{m^3} \times 0,3414 m^3 H_2 = 0,0307 kg H_2$$

$$c) 1,429 \frac{kg}{m^3} \times 0,1280 m^3 O_2 = 0,1829 kg O_2$$

4.2.7. Balance de masa de combustión en el generador



Los principales parámetros indispensables para lograr el buen funcionamiento del generador corresponden a la calidad de metano, así como condiciones eléctricas propias del mismo. El nivel mínimo aceptado es de 50 % de metano y un máximo de 70 %. Con un promedio de 60 %.



$$1 \text{ mol} = 22,4 \text{ L y } 1 m^3 = 1000 \text{ L}$$

$$1 m^3 = 44,64 \text{ mol}$$

$$212 \text{ kcal/mol} * 44,64 \text{ mol/m}^3 = 9463,68 \text{ kcal/m}^3 \text{ (2)}$$

El porcentaje promedio de metano es de 60 %; por lo tanto, se obtuvo que el poder calorífico del biogás es de:

$$9463,68 \text{ kcal/m}^3 * 60 \% = 5678,208 \text{ kcal/m}^3 \text{ (3)}$$

Se calculó la eficiencia energética de la planta, tomando en cuenta el promedio del gas producido en el caserío es de $(17,072 m^3/\text{día})$ y se multiplicó por el poder calorífico:

$$1 \text{ kcal} = 0,001163 \text{ kWh}$$

Entonces, la eficiencia energética de la planta obtenida fue de:

$$E1 = 5678,208 \text{ kcal/m}^3 * 17,072 \text{ m}^3 = 96938,367 \text{ kcal} * 0,001163 \text{ kWh/kcal} = 112,739 \text{ kWh/día}$$

4.2.8. Selección del generador eléctrico

El generador eléctrico que se seleccionó es de acuerdo a la potencia que se calculó en la tabla N°8 y N°9 en donde la potencia de los artefactos es de 6010 Watt y potencia en alumbrado público es de 100 Watt respectivamente teniendo una potencia total de 6110 Watt, para ello se pensó en dos generadores eléctricos de 3,5 kW c/u que funcionen con gas metano (CH_4).

Para mayor información sobre la selección del generador véase en los anexos.

4.3. Determinación del índice de radiación solar en el Caserío Pósope Bajo-Pátapo

Los datos de irradiación solar se obtuvieron de la base de datos de la NASA y se presenta a continuación dos tablas en las cuales se observa el promedio mensual de horas de presencia de sol y donde “se puede trabajar” y el promedio mensual de radiación solar que es aproximadamente $4,97 \text{ kW/m}^2$.

El valor que se obtuvo de la radiación es un dato muy importante para así poder desarrollar el cálculo de la central fotovoltaica, la cantidad de paneles fotovoltaicos, la cantidad de baterías, los reguladores e inversores a utilizar.

Tabla 24. Promedio mensual de radiación solar kWh/m^2

Lat -6.718 Lon -79.658	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
SSE HRZ	5,7	5,55	5,84	5,38	4,88	4,47	4,48	4,91	5,59	5,95	5,98	5,86	5,38
K	0,53	0,51	0,55	0,54	0,54	0,52	0,51	0,52	0,55	0,56	0,56	0,55	0,53
Diffuse	2,2	2,31	2,16	1,96	1,76	1,69	1,75	1,91	2,07	2,19	2,14	2,12	2,02
Direct	5,11	4,61	5,21	5,01	4,88	4,51	4,35	4,5	5,03	5,33	5,57	5,52	4,97
Tilt 0	5,6	5,47	5,76	5,32	4,84	4,43	4,43	4,86	5,52	5,86	5,88	5,76	5,31
Tilt 6	5,69	5,5	5,76	5,42	5,02	4,62	4,61	4,98	5,56	5,88	5,96	5,87	5,4
Tilt 21	5,71	5,39	5,57	5,49	5,28	4,94	4,88	5,11	5,47	5,71	5,96	5,94	5,45
Tilt 90	2,68	2,17	1,87	2,69	3,24	3,31	3,14	2,78	2,17	2,01	2,64	2,88	2,64

Fuente: NASA

4.4. Diseñar y seleccionar el sistema híbrido fotovoltaico-biodigestor para la generación de 15 kW de energía eléctrica en el CASERIO PÓSOPE BAJO-PÁTAPO.

4.4.1. Selección de tipo de Biodigestor

Esta decisión debe tomarse teniendo en cuenta algunos criterios tales como:

- a) Inversión que se está dispuesto a realizar.
- b) Energía que se quiere obtener.
- c) La biomasa con que se cuenta para alimentar el digestor.
- d) El tamaño requerido del digestor.
- e) Las características del lugar en cuanto a profundidad del nivel freático o mantos rocosos.

Para este caso se va a seleccionar un biodigestor de Tipo Plástico Salchicha de Flujo Continuo; ya que es el más utilizado, fácil de instalar y es de menos costo.

4.4.2. Capacidad de Planta de Biogás

De acuerdo con la tabla N°12 el potencial de biogás es de 17,072 m³/día, generado por la combinación de estiércoles que dan un total de 456 kg/día, se debe calcular el volumen de la mezcla de excreta-agua.

Teniendo en cuenta que las densidades de las excreta de los animales como 800kg/m³ para bovinos y 1040 kg/m³ para los porcinos sacaremos una relación de densidad total de la mezcla utilizando la fracción de masa de cada uno de los grupos de aporte. [19]

$$\rho \text{ total} = \sum f_{\text{masa}.i} \rho_i$$

$$\rho \text{ total} = (0,737 + 0,184) \times 800 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] + (0,063 + 0,016) \times 1040 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\rho \text{ total} = 818,95 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Otro punto importante a tomar en cuenta es la temperatura de la zona (Pósope Bajo) la cual es de un mínimo de 16°C y un máximo de 26°C. Para fines de este estudio se tomará un valor de 26°C.

4.4.2.1. Cálculo de Biomasa Disponible diaria

Este valor es el resultado de la suma de excreta de cada animal de estudio. En este caso es de un total de 456 kg/día el cual teniendo en cuenta la densidad anterior encontrada equivale a 1,796 m^3 /día.

4.4.2.2. Cálculo de Agua Necesaria para Mezcla Excreta-Agua

Guiándonos de la figura del anexo 5 podemos fácilmente calcular la proporción agua-excreta en litros o en kg de excreta producida para cada uno de los animales; así para vaca y terneras se tiene una proporción de agua de 1 a 1 y en cerdos de 1:3.

Esto genera una adición de 0,528 m^3 de agua por biomasa diaria. Nótese que la proporción de agua general del BD es de 1:1,29.

4.4.2.3. Carga diaria

El no cargar un digestor por una semana puede conducir a una pérdida en la producción de biogás. Por lo tanto, muchos digestores son diseñados para ser cargados diariamente. Con cargas continuas y descargas de material del sistema las bacterias trabajan eficientemente y se procesa grandes cantidades de residuos. Por esta razón en estos estudios se utilizara la carga diaria. [19]

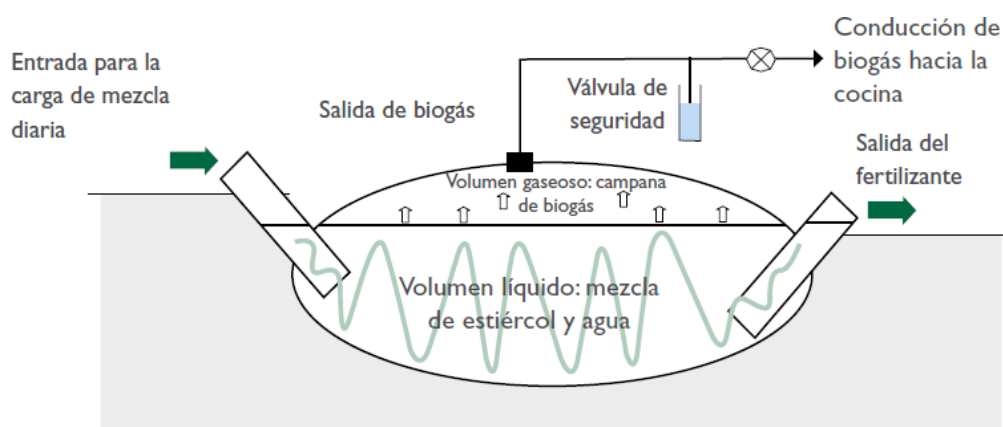


Figura N°13. Esquema básico de un biodigestor

Fuente: Biodigestores Familiares- Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares

4.4.2.4. Tiempo de Retención

Esta variable depende de la temperatura ambiente y junto con la carga del digestor determina las dimensiones del sistema. Es importante resaltar que no existe un criterio unificado para obtener el tiempo de retención. En este estudio se realiza la aplicación de la siguiente fórmula empírica. [19]

$$TR = -51,227x \ln(T) + 206,72$$

Para una temperatura de 26°C conlleva a un tiempo de retención de 40 días, coincidente con la imagen del anexo 5.

4.4.2.5. Volumen total de Biodigestor

Ahora se calcula el volumen total del digestor teniendo en cuenta el volumen diario disponible (Vdd) el cual es la suma del volumen de biomasa disponible diario (VBM) (1,796 m³/día) y el volumen de agua disponible (VA) para su empleo (0,528 m³/día), lo que da un resultado de 2,324 m³/día.

Teniendo en cuenta que el tiempo de retención es de 40 días y que se trata de un BD Tipo Plástico Salchicha de Flujo Continuo se procede a:

$$V(L) = Vdd \frac{m^3}{día} \cdot TR(dias)$$

$$V(L) = 2,324 \frac{m^3}{día} \times (40 dias) = 92,957 m^3$$

Por lo tanto el volumen del BD es la suma del volumen de la fase líquida y el volumen de la fase gaseosa. [19]

$$VBD = V(L) + V(G) = 92,957 + 17,072 m^3 = 110,029 m^3$$

4.4.3. Geometría de la Planta de Biogás

4.4.3.1. Ancho de rollo y radio de la manga tubular

Existen varias dimensiones de polietileno tubular los anchos varían de 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,5 y 5 m.

Normalmente este plástico se usa para carpas solares, y de igual manera se vende en su forma tubular. Para su uso se corta en uno de sus pliegues y se abre la manga de plástico para convertirla en una sábana del doble de ancho que el ancho de rollo.

Para la construcción de biodigestores tubulares, es la forma del plástico, la que permite hacer una cámara hermética si es que amarramos ambos extremos de la manga. El ancho de rollo determina el diámetro y radio de nuestro biodigestor. Según los anchos de rollo más comunes en el mercado encontramos. [19]



Figura N°14. Desenrollando el rollo de polietileno tubular

Fuente: Biodigestores Familiares- Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares

Normalmente este plástico se usa para carpas solares, y de igual manera se vende en su forma tubular. Para su uso se corta en uno de sus pliegues y se abre la manga de plástico para convertirla en una sábana del doble de ancho que el ancho de rollo.

Para la construcción de biodigestores tubulares, es la forma del plástico, la que permite hacer una cámara hermética si es que amarramos ambos extremos de la manga. El ancho de rollo determina el diámetro y radio de nuestro biodigestor. Según los anchos de rollo más comunes en el mercado encontramos. [19]

Tabla 25. Parámetros según el ancho del rollo

Ancho de rollo (m)	Perímetro de la circunferencia (m)	Radio (m)	Diámetro (m)
1	2	0,32	0,64
1,25	2,5	0,40	0,80
1,50	3	0,48	0,96
1,75	3,5	0,56	1,12
2	4	0,64	1,28

Fuente: Biodigestores Familiares- Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares

4.4.3.2. Volumen de una manga, sección eficaz y longitud

El biodigestor es una manga de plástico amarrada por ambos extremos a una entrada y una salida. El volumen total de este manga equivale al volumen de un cilindro (en metros cúbicos) que se calcula multiplicando $\pi \times r^2 \times L$, siendo $\pi=3,1416$, r el radio del tubo (en metros) y L la longitud del biodigestor (en metros).

Lo normal es primero obtener los resultados de $\pi \times r^2$ (sección eficaz) para cada uno de los anchos de rollos disponibles, para luego con estos valores, estimar la longitud necesaria para alcanzar el volumen total deseado. [19]

$$V_{cilindro} = \pi (r^2)(L)$$

$$\text{Sección eficaz}_{cilindro} = \pi(r^2)$$

Tabla 26. Parámetros según el ancho del rollo

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

Fuente: Biodigestores Familiares- Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares [19]

Conociendo el volumen total del biodigestor y las secciones eficaces de los plásticos disponibles (según su ancho de rollo), es fácil determinar la longitud necesaria. Si el volumen del biodigestor es $\pi \times r^2 \times L$, y conocemos todos los parámetros excepto la longitud, despejando de la anterior fórmula se obtiene: $L = \frac{V_t}{\pi \times r^2}$. De esta manera se genera un cuadro en el que se ponen los resultados de la longitud para cada ancho de rollo. [19]

$$L = \frac{V_t}{\pi(r^2)}$$

Tabla 27. Longitud del biodigestor según el ancho del rollo

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

Fuente: Biodigestores Familiares- Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares [19]

4.4.3.3. Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor

Según lo anterior, se tendrán diferentes posibilidades de longitudes y anchos de rollo para alcanzar el volumen total deseado. Los anchos de rollo más grandes exigirán menor longitud para alcanzar el volumen deseado. No conviene biodigestores demasiado cortos ni largos, y para ello existe una relación óptima entre el diámetro y la longitud que es 7. Esto significa que, dividiendo la longitud estimada entre el diámetro de la manga, habrá que seleccionar las dimensiones del biodigestor que más se acerquen a una relación de 7. Esta relación es flexible en un rango de 5-10, siendo la mejor 7. [19]

Tabla 28. Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor

Ancho de rollo (m)	Longitud del biodigestor (m)	Diámetro (m)	L/d (óptimo de 7 en un rango de 5 - 10)
1	Vt/0,32	0,64	L/d
1,25	Vt/0,5	0,80	L/d
1,50	Vt/0,72	0,96	L/d
1,75	Vt/0,97	1,12	L/d
2	Vt/1,27	1,28	L/d

Fuente: Biodigestores Familiares- Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares [19]

Para su cálculo se tomara en cuenta el criterio de Relación óptima entre longitud y diámetro teniendo en cuenta la sección eficaz mediante esta sabemos que si la proporción longitud diámetro se encuentra entre los valores de 5 a 10 se tiene un dimensionamiento óptimo. [19]

Tabla 29. Selección de plástico tubular

Selección de Plástico tubular				
Anchos de Mangas STD (m)	Radio de Manga (m)	Sección eficaz de la Manga (m)	Longitud Útil de Plástico tubular (m)	Factor
1,000	0,318	0,318	345,668	542,974
1,250	0,398	0,497	221,227	278,003
1,500	0,477	0,716	153,630	160,881
1,750	0,557	0,975	112,871	101,313
2,000	0,637	1,273	86,417	67,872
2,500	0,796	1,989	55,307	34,750
3,000	0,955	2,865	38,408	20,110
3,250	1,035	3,362	32,726	15,817
3,500	1,114	3,899	28,218	12,664
3,750	1,194	4,476	24,581	10,296
4,000	1,273	5,093	21,604	8,484

Fuente: Biodigestores Familiares- Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares- Elaboración propia

En esta tabla el ancho del rollo seleccionado es de 4 metros según el factor que indica esta relación, el factor es flexible en un rango de 5-10. El factor seleccionado es de 8,48.

4.4.3.4. Dimensionamiento de Zanja para el Biodigestor

Tendremos en cuenta las dimensiones de la manga seleccionada para el dimensionamiento de la zanja, la bibliografía sugiere lo siguiente. [19]

Tabla 30. Dimensiones de la zanja según el ancho de rollo (AR)

Dimensiones de la zanja según el ancho de Rollo (AR)					
AR (m)	2	1,75	1,5	1,25	1
a(m)	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
b(m)	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
p(m)	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Fuente: Biodigestores Familiares- Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares [19]

Para poder continuar con la tabla N°30 se procede a continuar los valores de dimensionamiento ya que el biodigestor tiene sus medidas más grandes.

Tabla 31. Dimensiones de la zanja según el ancho de rollo (AR) tabulada

Dimensiones de zanja según el ancho de rollo (AR)													
AR	4	3,75	3,5	3,25	3	2,75	2,5	2,25	2	1,75	1,5	1,25	1
A(m)	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
B(m)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
C(m)	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Fuente: Elaboración propia.

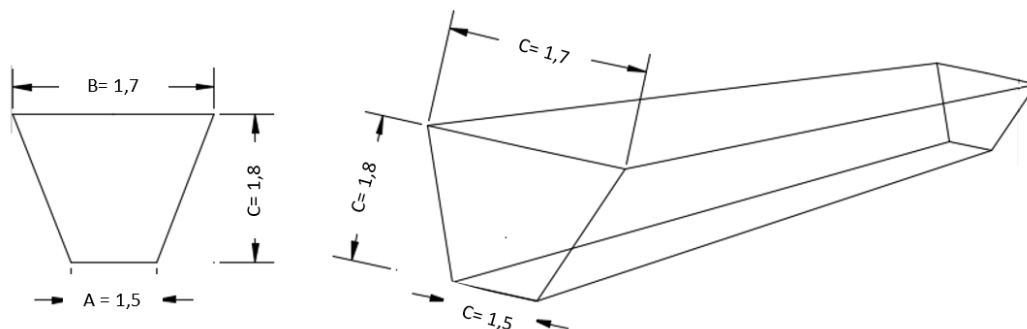


Figura N°15. Diseño de la fosa

Fuente: Elaboración propia

Puesto que el volumen del biodigestor es de $110,03m^3$. Se seleccionó un plástico tubular de 4 m de manga y 21,7m de largo el cual ira en una zanja de 1,5m de ancho inferior, 1,7m de ancho superior y 1,8m de profundidad.

4.4.3.5. Proceso constructivo

Paso N° 1: Excavación de la fosa:

Para realizar la excavación de requiere las siguientes medidas:

- Alto: 1,8 m
- Ancho superior: 1,7 m
- Ancho de la base: 1,5 m
- Largo de la fosa: 22 m

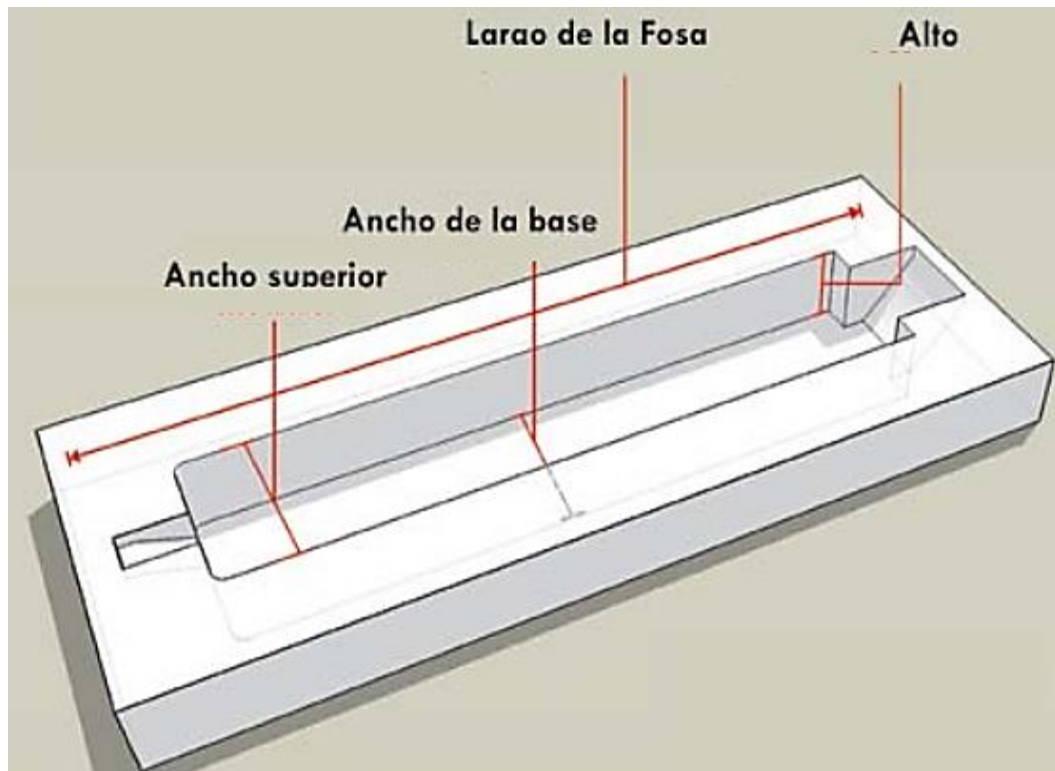


Figura N°16. Modelo de la fosa para la instalación del biodigestor

Fuente: Manual Técnico: La Experiencia de Construcción y Uso de Biodigestores para Producción Energética en Copan y Lempira

Una punta de la cava tiene que tener desnivel con respecto a la otra para que aquí se coloque el tubo y caja de descarga; esta fosa deberá presentar condiciones como lo de la firmeza del terreno, no escarpado en ninguna de sus tres áreas de contacto con la bolsa y que no haya vertederos de

agua, en caso de presentar piedras o puntas de raíces lo mejor es colocar alguna protección o revocar las paredes y asiento de la misma.

Paso N° 2 Preparación del plástico:

El plástico de la manga utilizado para construir un biodigestor tipo salchicha se llama plástico ultravioleta (plástico UV) que tiene resistencia para exponerse al sol y agua sin debilitarse muy rápido, es el mismo que se utiliza para la construcción de secadoras solares de café. A lo que no resiste es al maltrato como puyarlo con estacas, ramas de árboles, machetes, cuchillos, agujas o a cualquier objeto muy caliente o encendido.

Para aumentar un poco la resistencia a la presión que ejerce el gas se colocan dos bolsas, una dentro de la otra. Esto se debe hacer en un suelo limpio sin piedras o cualquier cosa que pueda romper el plástico, además para meter un plástico dentro del otro lo debe hacer un niño o una persona que no pese demasiado, sin zapatos y con calcetines en los pies, teniendo todo el cuidado posible de no remoler o majar el plástico. Para ayudar se introduce un lazo adentro para sostenerlo desde los extremos; porque si se pega el plástico la persona adentro se puede asfixiar. Para evitar torceduras se deben alinear las bolsas una dentro de la otra teniendo cuidado al máximo para que la posición de ambas sea completamente igual. [20]

Paso N° 3 Instalación de tubo de salida del gas:

Este paso se hace inmediatamente después de colocar un plástico dentro del otro, al estar en la misma posición, se hace una perforación redonda de ½", calculando que la rosca de un adaptador macho PVC de media pulgada de diámetro salga de manera forzada por esa perforación. Para hacer esta perforación en la manga se hizo un trazo con un lapicero que sirvió de guía para luego realizar el corte con una tijera. Antes de que una persona desde adentro ponga el adaptador debe colocarse una arandela de PVC o metal inoxidable y un empaque hecho de hule para que apriete y no deje escapar gas. Por fuera se hace lo mismo, pero con un adaptador hembra de media pulgada para enroscar en el adaptador macho colocado por dentro, debe apretarse bien para que los empaques no permitan fugas de gas por la perforación. En el adaptador hembra colocado por fuera se pega un pedazo de tubo de ½ pulgada seguido un codo que dirige la línea de conducción hacia la cocina. [20]

Paso N° 4 Instalación del tubo de carga y descarga:

Para esto inicialmente se cortan dos pedazos de tubo de PVC de 6" de diámetro y 1,00 metro de largo (de drenaje por ser el más barato y de buen funcionamiento), luego con una lija o navaja debe eliminarse el filo que puedan tener en los cortes realizados, o se coloca una banda de hule que cubra los filamentos que produce el corte; en cada extremo de la bolsa se coloca uno de los tubos, estos deberán ir con 80 cm dentro de la bolsa y bien ligados con bandas de hule de neumático a partir de 30 cm del extremo que queda dentro de la bolsa. Para sujetar el plástico en los tubos se hacen dobleces tipo acordeón desde cada orilla hasta el centro donde está colocado el tubo, esto permite que la bolsa se despliegue sin problemas al entrar el agua y una adhesión uniforme para que a la hora de ligar con las bandas de hule la superficie del plástico quede totalmente pegada al tubo sin posibilidad de que se escape ni agua ni gas, los extremos de los tubos que quedan dentro de la bolsa deben quedar sumergidos en la mezcla de agua con estiércol que llena hasta la mitad de la bolsa,

para que sirvan de sello y no permitan salida de gas por los extremos a la hora de cargar o descargar. [20]

Paso N° 5 Colocación de la bolsa en la fosa:

Las bolsas endosadas y con el tubo de salida conectado se colocan en la fosa tratando en lo máximo posible que no quede doblada ni retorcida para evitar daños a la hora de llenarla y reducción en el espacio por dentro de la bolsa. Poniéndola llena de aire en la fosa, la bolsa quedara en la mejor posición. Todos los pasos se deben hacer con mucho cuidado para evitar el daño a la bolsa; lo que es aconsejable que para colocar la bolsa se extienda en el lugar definitivo y después con sumo cuidado una persona extiende la parte del plástico que tiene contacto con el suelo de la fosa dejando todo lo que sobre para encima y así que la primera carga de agua ayude a que la bolsa tome posición y forma dentro de la fosa; con el cuidado de que no queden dobleces debajo que después son imposibles de deshacer y deforman el Biodigestor. [20]

Paso N° 6 Construcción de piletas de carga y descarga:

Justo en la boca de cada tubo se construye una pila de 4 bloques que sirven para sujetar la punta de los tubos de carga y descarga y para facilitar el llenado de la mezcla y recibir el biol (abono foliar orgánico) en el extremo que sirva para descargar. Además, estas pilas deben estar tapadas para evitar que se hagan criaderos de insectos en las bocas de los tubos de carga y descarga. La pila de descarga debe estar más baja de nivel con respecto a la pila de carga para facilitar el recorrido de la mezcla hasta salir como biol. [20]

Paso N°7 Primer válvula de control:

Esta válvula es colocada a pocas pulgadas del primer codo colocado en el tubo de salida, su función es controlar el flujo de gas muy cerca de la bolsa, además se usa en caso de que haya necesidad de cambiar el agua del bote que sirve como válvula de alivio o control de presión. [20]

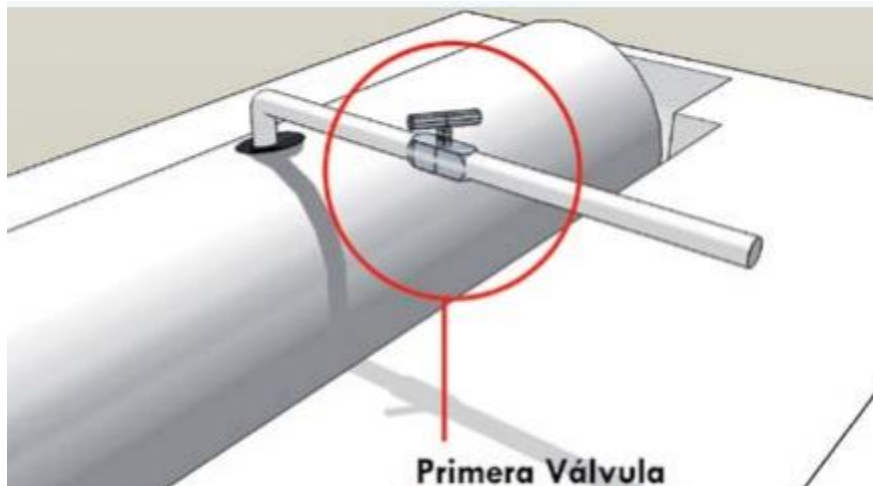


Figura N°17. Características de la instalación de la primera válvula de control

Fuente: Manual Técnico: La Experiencia de Construcción y Uso de Biodigestores para Producción Energética en Copan y Lempira

Paso N° 8 Filtro para poder eliminar el H_2S :

En el biogás que se origina de tratamiento anaeróbico de residuos, se halla frecuentemente presente un compuesto perjudicial como es el sulfuro de hidrógeno (H_2S), que se forma en la reducción de sulfatos por bacterias anaerobias. Los sulfatos presentes en los digestores anaeróbicos proceden, principalmente, de existente en el abastecimiento de agua potable, de descargas industriales y de la descomposición de compuestos orgánicos que contienen azufre, tales como proteínas y orina. La presencia de ácido sulfhídrico (H_2S) en el biogás, aun cuando puede ser inferior a 1 %, resulta una dificultad cuando se trata de utilizar el biogás en motores, refrigeradores, calentadores u otros dispositivos metálicos que pueden ser afectados por este gas corrosivo, en nuestro caso la estufa puede ser perjudicada con la presencia de (H_2S). Utilizando la trampa sugerida (que sustituye filtros a base de óxido de hierro), es posible eliminar el azufre. Se requiere, evidentemente, revisar y sustituir la viruta de hierro cuando se agote en el depósito.

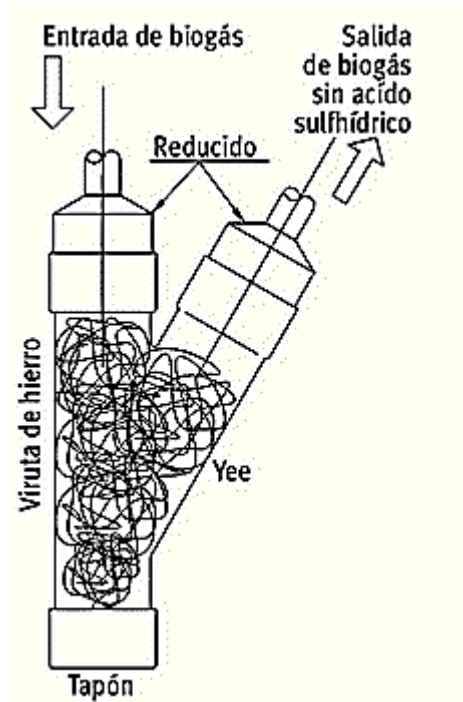


Figura N°18. Detalle de la trampa para eliminar el ácido sulfhídrico (H_2S)

Fuente: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia34/HTML/articulo03.htm>

4.4.3.6. Materiales del biodigestor

En esta tabla se detalla cada uno de los materiales a utilizar para el proceso constructivo del biodigestor.

Tabla 32. Materias del biodigestor

1	Materiales	Cantidad
1,1	Tubular en polietileno*6 u 22m x 4m ancho	1
1,2	Tubo de PVC de 6"x1m largo	1
1,3	Válvula de control	1
1,4	Filtro para eliminar H_2S	1
1,5	Válvula de alivio de presión 1"	1
1,6	Baldes circulares 15GAL (12-18)in	8
1,7	Manguera plástica flexible de jardín 1 1/4	6
1,8	Adaptador macho PVC 1"	4
1,9	Adaptador hembra PVC 1"	4
1,10	T PVC 1"	4
1,11	Codo 90° PVC 1"	6
1,12	Tapón Liso PVC 1"	1
1,13	Tubería PVC 1/2"	2
1,14	Tubería PVC 1"	2
1,15	Limpiador de PVC	1
1,16	Pegamento para PVC	1
1,17	Tubería Galvanizada 1/2" doble rosca	2
1,18	Codo galvanizada 1"	4
1,19	Nipple galvanizada 10-12cm x1" doble rosca	4
1,20	Abrazaderas metálicas cremallera 1- 1/2	8
1,21	Llave de paso bronce 1/2"	1
1,22	Arandelas >10cm	8
1,23	Lápiz	1
1,24	Frasco plástico 3-4lt	4
1,25	Lata usada 1/2 gal	4
1,26	Empaque de neumático usado 20x20cm	8
1,27	Correas de neumático usadas 5cmx2m	16
1,28	Sacos usados de 40kg polietileno	10
1,29	Ladrillos	3
1,30	Esponjilla o alambrina metálica	2
1,31	Cemento bolsas	25
1,32	Arena amarilla 6 metros	2

Fuente: Elaboración propia

4.5. Estimación de la carga que se requiere conectar actualmente con el sistema fotovoltaico en el Caserío Pósope Bajo-Pátapo

En la tabla N°33 se muestran los datos sobre los tipos y cantidad de cargas conectadas en Caserío, su potencia promedio, la potencia total demandada por el sistema y el consumo eléctrico diario aproximado calculado en base a una estimación de las horas de uso promedio de cada una de los aparatos.

En el Caserío Pósope Bajo-Pátapo hay 8 casas.

Tabla 33. Consumo diario de energía

Cálculo de la demanda de consumo en CA						
Equipo o Vivienda	Cantidad	Potencia Promedio	Potencia Total	Horas Diarias de Uso	Consumo Diario Promedio	Consumo Diario Máximo + 30%
		W	W		kWh/día	kWh/día
CASA 1	4	20	80	6	0,48	0,624
CASA 2	5	20	100	6	0,6	0,78
CASA 3	4	20	80	6	0,48	0,624
CASA 4	3	20	60	6	0,36	0,468
CASA 5	5	20	100	6	0,6	0,78
CASA 6	3	20	60	6	0,36	0,468
CASA 7	4	20	80	6	0,48	0,624
CASA 8	3	20	60	6	0,36	0,468
BOMBA 1	1	3730	3730	3	11,19	14,547
BOMBA 2	1	3730	3730	3	11,19	14,547
TOTAL			8080		26,1	33,93

Fuente: Elaboración propia

El Consumo Diario Promedio corresponde al consumo mensual estimado promediado entre los 30 días. Se conectan el mismo día la cantidad de horas promedio especificadas. Se considera además el caso en que el consumo diario aumenta en un 30%.

4.5.1. Consumo eléctrico real

El primer paso en el diseño de los componentes consiste en estimar la cantidad total de energía que el sistema de generación deberá poder suministrar a las cargas conectadas en el caserío.

El tamaño del generador fotovoltaico debe asegurar que la energía producida durante el peor mes pueda, como mínimo, igualar a la demandada por la carga. Por lo que para dimensionar tanto los módulos como las baterías de un sistema FV autónomo, es necesario conocer las cargas a conectar (televisores, radios, etc.), la potencia nominal de cada una (P), el número de aparatos de determinado tipo (n) y las horas diarias de funcionamiento (t). El consumo diario (Cd), medido en Wh/día, para cada tipo de carga se calcula entonces de la siguiente forma. [21]

$$C_d = P * n * t \quad (1)$$

Donde:

Cd= consumo diario

P= potencia nominal de cada una

n= número de aparatos de determinado tipo

t= las horas diarias de funcionamiento

Para mayor entendimiento estos valores fueron calculados en la tabla N°33 donde el consumo diario promedio es de 26,1 kWh/día.

4.5.2. Dimensionamiento de los paneles

Para sistemas FV domésticos, en que el generador se coloca en cerca de la vivienda, se calculan por aparte las cargas en CC y en CA, ya que solo las de CA se conectan al inversor. En el caso en estudio, en que se pretende alimentar 8 viviendas a partir de una central FV, se considera que toda la energía producida deberá convertirse en corriente alterna en el inversor para ser luego transmitida y unida con la potencia de los 2 generadores eléctricos.

La suma de los consumos diarios de todas las cargas, calculados a partir de la tabla N°33 constituye el consumo energético teórico $E_t = 26,1 \text{ kWh/día}$. A partir de este valor debe calcularse el consumo energético real, E (kWh), que considera los diversos factores de pérdida en la instalación FV de acuerdo con la siguiente ecuación. [21]

$$E = E_t / R \quad (2)$$

Donde:

Donde el parámetro R es el rendimiento global de la instalación fotovoltaica; dicho rendimiento global considera distintos factores de pérdida. Para el caso que nos ocupa se consideran los siguientes valores: [21]

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) * (1 - \frac{k_a * N}{P_d}) \quad (3)$$

Donde

k_b : Coeficiente de pérdidas debidas al rendimiento del acumulador:

0,05 en sistemas que no se producen descargas intensas

0,1 en sistemas con descargas profundas

El coeficiente pérdidas en el acumulador (k_b) se toma igual a 0,1 considerando la posibilidad de que se presenten descargas profundas. [21]

k_c : Coeficiente de pérdidas en el inversor:

0,005 para inversores de salida senoidal pura, en condiciones óptimas.
0,1 para condiciones de trabajo lejos de las óptimas.

El coeficiente de pérdidas en el inversor (k_c) tendrá un valor promedio de 0,005 tomando en cuenta que las condiciones de operación de los inversores podrían ocasionalmente alejarse de los valores nominales, pero que se instalará aparatos de alta calidad. [21]

k_v : Coeficiente de pérdidas varias (transmisión, efecto Joule, etc.)

El intervalo de valores de este parámetro que se toma como referencia es
 $0,05 < k_v < 0,15$

El coeficiente de pérdidas varias (k_v) se considera de 0,15 debido a que la energía generada deberá transmitirse hacia los hogares a través de una línea que alcanza aproximadamente los 300 m de longitud en su extremo más lejano, por lo que se generan pérdidas considerables en los conductores AC. Así mismo, la cantidad de energía que deberá generarse en la instalación es considerablemente alta para un voltaje máximo de 48V, lo que implica el uso de cables DC de sección grande y pérdidas resistivas adicionales. [21]

k_a : Coeficiente de autodescarga diaria de las baterías, los valores típicos son:

0,002 para baterías de baja autodescarga (Ni-Cd)
0,005 para baterías estacionarias de plomo ácido (las más usuales)
0,012 para baterías de alta autodescarga (SLI)

El coeficiente k_a se tomó el valor de 0,005 para baterías estacionarias de plomo ácido. [21]

N: Días de autonomía de la instalación

4-10 días como valores de referencia

Para poder a ser el cálculo del rendimiento global se tomó el valor de 4 días de autonomía.

P_d : Profundidad de descarga diaria de la batería:

No deberá exceder el 80% de la capacidad nominal del acumulador. [21]

Con los datos que se obtuvieron anteriormente ahora se reemplaza los datos en la ecuación (3):

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) * \left(1 - \frac{k_a * N}{P_d}\right)$$

$$R = (1 - 0,1 - 0,005 - 0,15) * \left(1 - \frac{0,005 * 4}{0,8}\right)$$

$$R = 0,72171875$$

Teniendo el rendimiento global R ahora podemos remplazar en la Ecuación (2)

A partir de la tabla N°33 se tiene que el consumo eléctrico diario estimado para el Caserío Pósope Bajo-Pátapo no sobrepasa los 26,1 kWh por día. Esta cantidad corresponde al consumo eléctrico teórico, por lo que debe calcularse el consumo eléctrico real, definido en la ecuación (2) como la razón entre el consumo eléctrico teórico y el rendimiento global de la instalación, que corresponde a la ecuación (3). Dicho rendimiento global considera distintos factores de pérdida que fueron obtenidos anteriormente.

$$E = E_t/R$$

$$E = 26,1/0,72171875$$

$$E = 35,931853 \text{ kWh}$$

4.5.3. Radiación solar

Ahora, es necesario conocer la radiación solar diaria (H), medida en kWh/m²/día para cada mes del año en función de la localización geográfica e inclinación de los paneles y en base a datos estadísticos históricos de la zona. [21]

Un concepto importante necesario para realizar el dimensionamiento de la cantidad de paneles necesarios en la instalación es el número de horas pico solares, *HPS*, que se refiere al número de horas diarias de luz solar equivalentes referidas a una irradiancia constante $I=1\text{kWh/m}^2$, a la cual se mide siempre la potencia de los paneles. Este un método para estandarizar la curva diaria de irradiancia solar, tal como se muestra en la figura 19. El área del rectángulo, definida a partir de las horas pico solares, es igual al área bajo la curva horaria de irradiancia real. [21]

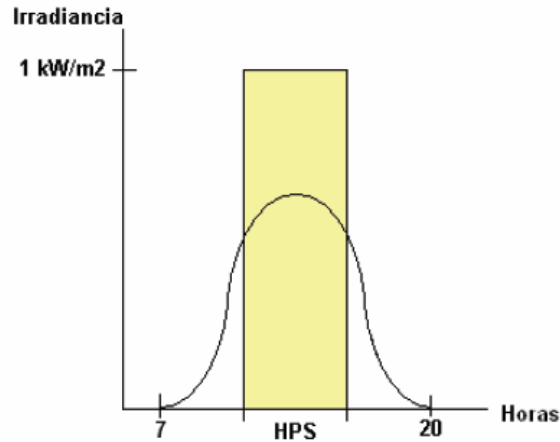


Figura N°19. Definición de las horas picos solares

Fuente: http://www.diegoonate.co.nf/pdf/art_fot_014.pdf

La irradiación H (kWh/m^2), es igual al producto de la irradiancia de referencia, I , y las horas pico solares, HPS . Como $I=1\text{kW}/\text{m}^2$, se tiene entonces que los valores numéricos de la irradiación y las horas pico solares son iguales. [21]

$$H \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] = I \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right] * HPS[h] \quad (4)$$

La cantidad de energía producida por un panel a lo largo de todo el día, es equivalente a la energía que se produciría en las horas de pico solar si el panel opera a su potencia máxima o nominal (W_p). Dicha potencia es el principal parámetro que describe la cantidad de energía producida por un panel a lo largo de todo el día, es equivalente a la energía que se produciría en las horas de pico solar si el panel opera a su potencia máxima o nominal (W_p). Dicha potencia es el principal parámetro que describe el. [21]

El nivel de radiación para el peor mes en la zona de interés es de $4,35 \text{ kWh}/\text{m}^2$ día.(ver anexos), entonces la remplazamos en la ecuación (4)

$$H \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] = I \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right] * HPS$$

$$4,35 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] = 1 \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right] * HPS[h]$$

$$4,35[h] = HPS$$

Es necesario ahora definir la potencia del panel solar que se empleará para calcular la cantidad total de paneles necesaria, de acuerdo con la ecuación.

4.5.4. Cálculo de los Paneles Fotovoltaicos

Entonces el número de paneles necesario (N_p) se calcula empleando el número de horas picos solares (HPS) del peor mes del año, la potencia pico del panel (W_p) y con un factor de seguridad de 0,9 dado.

$$N_p = \frac{E}{0,9 * W_p * HPS} \quad (5)$$

Para seleccionar la potencia pico del panel (W_p) se tomó en cuenta el precio de los paneles. Cuando se emplean paneles de baja potencia el precio por unidad es menor, pero se requiere una mayor cantidad de unidades para conforma el generador, pasa lo contrario si escoge los paneles de potencias más altas ya que equivalen a un porcentaje menor en precio. [21]

El Panel Solar 300W 24V Policristalino ATERSA OPTIMUM es un panel solar optimizado tanto en precio como en eficiencia, con la garantía de Atersa, este panel solar tiene una salida de potencia estable basado en una tecnología de proceso innovador a, selectiva y eficaz que permite dar la garantía de un fabricante de módulos desde hace más de 30 años. Para más información (ver anexos)

$$N_p = \frac{35,931853 \text{ kWh}}{0,9 * 0,30 \text{ kW} * 4,35 \text{ h}}$$

$$N_p = 30,593$$

$$N_p = 32 \text{ paneles}$$

Se requiere de acuerdo a la ecuación (5), un total de 32 paneles para conformar grupos de 2 panes de 24V que permitan operar a 48V.

De acuerdo con la sección los paneles deberán orientarse hacia el sur con una inclinación cercana a los 15°.

4.5.5. Sistema de almacenamiento

4.5.5.1. Dimensionamiento de las baterías

Los ensayos de ciclado para baterías, en condiciones representativas de su operación en sistemas FV, son lentos y difíciles. Aunque se han realizados intentos de llevar a cabo estos ensayos, no existen aún procedimientos ampliamente aceptados y es probable que esta situación se mantenga en años venideros. Debido a esto, la solución más práctica consiste en confiar en normas existentes y bien establecidas para usos convencionales de las baterías. Esto implica utilizar valores correspondientes a una descarga en 20 horas y el número de ciclos correspondientes a una profundidad de descarga de 50. [21]

La primera etapa en el dimensionado de las baterías, consiste en asegurar que la producción de energía excederá la demanda durante el peor mes. Para lograr esto, la capacidad útil de la batería (capacidad nominal multiplicada por la máxima profundidad de descarga) debe permitir entre 3 y 5 días de autonomía (días que el sistema puede suministrar energía en ausencia de radiación solar usando solo las baterías). [21]

La ecuación (6) permite calcular la capacidad del banco de baterías C (kAh), a partir del consumo energético real E , calculado en la ecuación (2); los días de autonomía N son 4 días; la tensión nominal del acumulador V (para este caso será 24 V); y la profundidad de descarga permitida P_d . No debe exceder el 80%. [21]

$$C = \frac{E * N}{V * P_d} \quad (6)$$

$$C = \frac{35,93185 * 4}{24 * 0,8}$$

$$C = 7,485803 \text{ kAh}$$

Todos los valores de capacidad recomendados corresponden a descargas en 20 horas. Si se trabaja con otros regímenes de descarga, pueden emplearse las siguientes relaciones empíricas:

$$\frac{C_{100}}{C_{20}} = 1,25 \quad \frac{C_{40}}{C_{20}} = 1,14 \quad (7)$$

Una buena tecnología de baterías puede ser desaprovechada porque en el campo no puedan respetarse las instrucciones de carga inicial. Por lo tanto, deben hacerse las provisiones necesarias para asegurar que la capacidad inicial de las baterías no está significativamente por debajo de los valores nominales. Esto puede lograrse con un proceso apropiado de formación durante la fabricación de la batería, o mediante la realización de cargas iniciales cuando la batería ya está instalada. Si se elige esta última alternativa, el personal que instale las baterías debe tener los equipos necesarios para cargarlas, y estar capacitado para controlar y realizar las cargas iniciales. Por lo que este tipo de solución es generalmente inapropiada en el caso de sistemas FV para electrificación rural, debido a lo remoto de las condiciones características de operación. [21]

A menudo las baterías se transportan sin electrolito, y se llenan hasta el momento de su instalación definitiva. Este procedimiento ofrece ventajas de seguridad durante el transporte y evita la descarga durante el almacenaje, pero requiere generalmente de la realización de cargas iniciales en el lugar de la instalación, lo que, como ya se mencionó, no es una buena práctica en el caso de sistemas FV para electrificación rural. Una buena práctica es almacenar las baterías secas y llenarlas con el electrolito justo antes de enviarlas a su destino final. Esto requiere que las baterías se transporten llenas, pero permite realizar la carga inicial en el taller del instalador. [21]

Para ello se seleccionó el tipo de batería marca botch con un corriente de A= 150 debido a que su precio es recomendable en el mercado y son más económicas que una batería especialmente para paneles fotovoltaicos.

Según con la ecuación (7) la capacidad de descarga en 20 horas de la batería seleccionada es de $C_{20} = 150 Ah$.

$$\frac{C_{100}}{150 Ah} = 1,25$$

$$C_{100} = 187,5 Ah$$

Con este dato, puede calcularse el número de baterías que se requieren (N_b) en base a la capacidad de la batería elegida (C_{bat}) en kWh.

$$N_b = \frac{C}{C_{bat}} \quad (8)$$

$$N_b = \frac{7,485803 kAh}{187,5 Ah} \quad (8)$$

$$N_b = 40 \text{ baterias}$$

4.5.6. Regulador de carga

El dimensionamiento del regulador de carga se realiza en base a la corriente de cortocircuito del generador FV. En este caso tenemos 32 paneles de 300 Wp, la corriente de cortocircuito de un panel de esta potencia es, de acuerdo con hojas de fabricante de varios equipos, de aproximadamente 8,78 A. Esto implica una corriente máxima de corto circuito del generador de 140,48 A y 175,6 A considerando un valor agregado de un 25% (teniendo en cuenta que los paneles se colocan en grupos de 4 para alcanzar los 48 V). Los reguladores comerciales no exceden los 50 A de capacidad. En este caso puede realizarse un arreglo en que cada regulador de 50 A controle 4 conjuntos de 2 paneles en serie, es decir serían necesarias 4 unidades que deberán conectarse en paralelo.

Considerando que el valor promedio de un regulador de 50 A ronda los 396,34€, el monto total que deberá emplearse en la compra de reguladores es de aproximadamente 1585,36€.

(Para mayor entendimiento ver anexos)

4.5.7. Inversor de carga

Para seleccionar el inversor se debe tener en cuenta las siguientes características del sistema:

- **Tensión nominal de entrada:** $U_s = 48V$; Esta tensión fue la seleccionada para el dimensionamiento del sistema.

- **Potencia Nominal:** 3000 W.

El sistema presenta una potencia máxima de 8080W, pero se escoge 3 inversores de 3000W debido a que da un amplio margen de crecimiento y el sistema se adapta correctamente a él.

- **Tensión nominal y frecuencia de salida:** $U_{ac} = 220Vac$ a 60Hz; Estas son la tensión y la frecuencia nominales en Perú y por tal razón, todas las cargas funcionan con estas características.

4.5.8. Selección del conductor

La sección de los cables se debe elegir de forma tal que las máximas caídas de tensión en ellos, comparadas con la tensión con la que se esté trabajando, estén por debajo de los siguientes expresados en la tabla N°34.

Tabla 34. Selección de cables

	Valor admisible	máx. Valor recomendado
Tramo Campo de paneles - Regulador	3%	1%
Tramo Regulador- Acumulador	1%	0.5%
Tramo Acumulador - Inversor	1%	1%

Fuente: Manual de la instalación del regulador de carga

Para calcular la sección necesaria en cada tramo del sistema; según el manual de instalación del regulador de carga se emplea la siguiente expresión, válida para cables de cobre de alta pureza.

$$S(\text{mm}^2) = 4,4 \times 10^{-2} \times \frac{li}{\Delta V} \quad (9)$$

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

l = Longitud del tramo (m)

i = Máxima corriente (A)

ΔV = Tensión máxima en serie (V)

En el caso particular el inversor y el regulador vienen incluidos en el mismo equipo por lo cual se hicieron los cálculos para los siguientes tramos.

4.5.8.1. Tramo campo fotovoltaico – Regulador

Con una tensión máxima de salida en los paneles de $V_{\text{mmp}} = 72,38 \text{ V}$, la caída de tensión correspondiente al 1% será:

$$\Delta V = 72,38 \times 0,01$$

$$\Delta V = 0,7238 \text{ V}$$

Además conociendo la longitud del tramo, $l = 10\text{m}$, y la corriente $i_{\text{mmp}} = 8,34 \times 4 = 33,36\text{A}$. La sección de cable será:

$$S(\text{mm}^2) = 4,4 \times 10^{-2} \times \frac{10\text{m} \times 33,36\text{A}}{0,7238 \text{ V}}$$

$$S(\text{mm}^2) = 20,2796 \text{ mm}^2$$

Comercialmente el cable con la sección más cercana a este valor, es el de calibre 4 AWG al cual le corresponde una sección $S = 21,2 \text{ mm}^2$. (Ver anexos)

Para estar seguros de la elección, se comprobó que con esta sección no se superan los límites porcentuales de caída de tensión.

$$\Delta V = 4,4 \times 10^{-2} \times 10 \times \frac{33,36}{21,2}$$

$$\Delta V = 0,6923\text{V}$$

$$\text{Caída\%} = \frac{0,6923 \text{ V}}{0,7238}$$

$$\text{Caída\%} = 0,956$$

Este valor encaja perfectamente en el rango

$$S = 21,2 \text{ mm}^2 \text{ o } 4 \text{ AWG}$$

4.5.8.2. Tramo campo Regulador –Acumulador

Se considera la corriente de salida de los paneles $i = 33,36$ A, y la caída de tensión correspondiente al 1 % será:

$l = 11$ m distancia de tramo a tramo de los 4 reguladores

$i = 33,36$ A corriente en los paneles en paralelo

$V = 90$ V dato del regulador

$$\Delta V = 90 \times 0,01$$

$$\Delta V = 0,90$$

De acuerdo con la ecuación (9)

$$S(\text{mm}^2) = 4,4 \times 10^{-2} \times \frac{li}{\Delta V}$$

$$S(\text{mm}^2) = 4,4 \times 10^{-2} \times \frac{11 \text{ m} \times 33,36 \text{ A}}{0,90 \text{ V}}$$

$$S(\text{mm}^2) = 17,94 \text{ mm}^2$$

Comercialmente el cable con la sección más cercana a este valor, es el de calibre 4 AWG al cual le corresponde una sección $S = 21,2 \text{ mm}^2$. (Ver anexos)

Para estar seguros de la elección, se comprobó que con esta sección no se superan los límites porcentuales de caída de tensión.

$$\Delta V = 4,4 \times 10^{-2} \times 11 \times \frac{33,36}{21,2}$$

$$\Delta V = 0,7616$$

$$\text{Caída\%} = \frac{0,7616 \text{ V}}{0,9}$$

$$\text{Caída\%} = 0,8462\%$$

4.5.8.3. Tramo campo Acumulador-Inversor

Para este tramo se toma los cálculos anteriormente desarrollados es decir el calibre será de 4 AWG al cual le corresponde una sección $S = 21,2 \text{ mm}^2$.

4.5.8.4. Tramo Inversor – Tablero

Ya en la sección AC se determina un cable con sección suficiente para soportar 45A correspondientes a una tensión $V = 220\text{Vac}$ y una potencia $P_i = 3000\text{W}$.

En este caso es suficiente un cable de calibre 10 AWG, con $S = 5,26 \text{ mm}^2$, el cual da un buen margen ya que puede soportar 40A.

4.5.9. Materiales

En la tabla N°35 observamos todos los materiales que se van a adquirir para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Tabla 35. Materiales para la instalación del sistema fotovoltaico

1	Equipos	Cantidad
1,1	Panel Fotovoltaico Atersa Optimum 300W 24V	32
1,2	Batería Bosch S5X 150D	40
1,3	Inversor de carga Sealed GTFX 3kW 48V	3
1,4	Regulador de Carga Leo20 50A 48V Esclavo	4
1,5	Cable 4 AWG	3
1,6	Cable 10 AWG	1

Fuente: Elaboración propia

4.6. Diseño del sistema híbrido

Para poder dimensionar el sistema híbrido primero debemos tener en cuenta los equipos que se van a conectar en el sistema.

En el cálculo del sistema fotovoltaico anterior se seleccionaron 3 inversores para abastecer dicha demanda; con una potencia de $P= 3\text{kW}$ y una tensión de $V=220$ cada uno.

También se seleccionó 2 generadores eléctricos que funcionaran con el biodigestor; con una potencia de $P= 3,5 \text{ kW}$ y una tensión de $V=220$.

Estos equipos mencionados anteriormente se unirán mediante unas barras colectoras de cobre para así formar la unión de las dos redes fotovoltaico-biodigestor. (Sistema híbrido); a continuación, se desarrollará el cálculo de dicho sistema.

4.6.1. Cálculo de barras colectoras

Para calcular las barras es necesario saber el amperaje que del equipo que se conectara para ello conocemos la fórmula de la potencia.

$$P = V \times I \times \cos\phi \quad (10)$$

Donde:

P = potencia nominal

V = Voltaje del sistema

I = Corriente del sistema

$\cos\phi= 0,9$ (factor de potencia)

- a) **Se procede a calcular el amperaje que circulará en cada barra, para ello empezaremos por calcular el amperaje de los inversores. Entonces:**

Datos de inversor (ver anexo)

$P= 3\text{kW}$

$V= 220$

$\cos\phi= 0,9$

Remplazando en la ecuación (10)

$$P = V \times I \times \cos\phi$$

Despejando la corriente quedara de esta manera.

$$I = \frac{P}{V \times \cos\phi}$$

Reemplazando:

$$I = \frac{3kW}{220 V \times 0,9}$$

$$I = 15,15 A$$

La intensidad que pasa en cada barra colectora de cobre es de 15,15A por inversor; para este caso contaremos con 3 inversores entonces la intensidad que pasará por cada barra será de 45,45A

b) Se procede a calcular el amperaje que circulará en cada barra, para ello se calculará el amperaje de los 2 generadores. Entonces:

Datos del generador (ver anexo)

$$P= 3,5kW$$

$$V= 220$$

$$\cos\phi= 0,9$$

Reemplazando en la ecuación (10)

$$P = V \times I \times \cos\phi$$

Despejando la corriente quedara de esta manera.

$$I = \frac{P}{V \times \cos\phi}$$

Reemplazando:

$$I = \frac{3,5kW}{220 V \times 0,9}$$

$$I = 17,67 A$$

La intensidad que pasa en cada barra colectora de cobre es de 17,67A por generador; para este caso contaremos con 2 generadores entonces la intensidad que pasará por cada barra será de 35,35A.

Con las intensidades calculadas anteriormente de los inversores y generadores se procederá a seleccionar las barras colectoras de cobre con una intensidad de corriente de total de $I= 80,80A$.

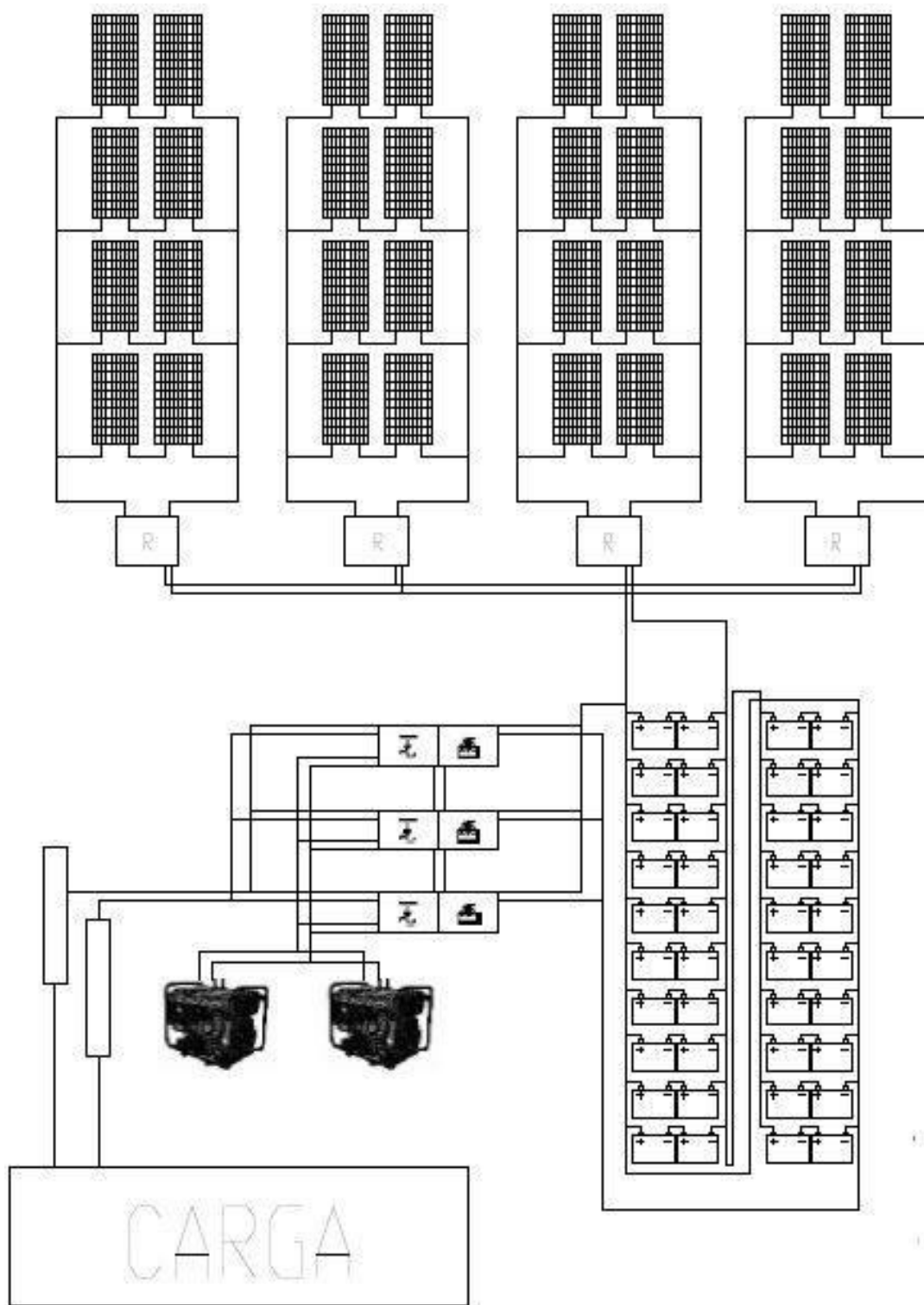


Figura N°20. Diseño del Sistema Híbrido

4.6.2. Materiales

Tabla 36. Materiales para la instalación del Sistema Híbrido

Equipos	Cantidad
Barras Colectoras	2

Fuente: Elaboración propia

V. Análisis Económico

5.1. Análisis de la inversión

Parámetros a tener en cuenta

Varios factores influyen en la elaboración de un análisis económico a lo largo del periodo de vida de un sistema híbrido, conviene tener en cuenta los siguientes factores:

- Vida útil del sistema
- Inversión del proyecto
- Precio del kW/h
- Tasa de descuento
- Costes de operación y mantenimiento

Descripción de la inversión:

1. Desarrollo del proyecto
2. Sistema fotovoltaico
3. Biodigestor
4. Generadores eléctricos
5. Barras colectoras de cobre
6. Dirección y Gestión del proyecto

Tabla 37. Presupuesto del Sistema Fotovoltaico

Equipos	Precio	Conversión de divisas	Cantidad	Importe
Panel Fotovoltaico Atersa Optimum 300W 24V	€ 292,82	€ 1 086,36	32	S/. 34 763,59
Batería Bosch S5X 150D	€ 136,70	€ 507,16	40	S/. 20 286,28
Inversor de carga Sealed GTFX 3kW 48V	€ 2 704,41	€ 10 033,36	3	S/. 30 100,08
Regulador de Carga Leo20 50A 48V Esclavo	€ 396,34	€ 1 470,42	4	S/. 5 881,69
Cable 4 AWG	€ 34,74	€ 128,89	3	S/. 386,66
Cable 10 AWG	€ 49,89	€ 185,09	1	S/. 185,09

Mano de Obra	Precio	Conversión de divisas	Cantidad	Importe
Mano de Obra de 3 obreros por hora	S/. 120,00	S/. 120,00	35	S/. 4 200,00
Equipos de Seguridad	S/. 60,00	S/. 60,00	6	S/. 360,00
Ingeniero Supervisor x hora	S/. 400,00	S/. 400,00	12	S/. 4 800,00
Tecnico de Instalación x hora	S/. 200,00	S/. 200,00	14	S/. 2 800,00
Charlas de concientización x día	S/. 150,00	S/. 150,00	3	S/. 450,00
Otros	S/. 1 000,00	S/. 1 000,00	1	S/. 1 000,00

Total del sistema fotovoltaico	S/. 105 213,39
---------------------------------------	-----------------------

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°37 podemos apreciar el costo total del Sistema Fotovoltaico e incluyendo la mano de obra; con un total de S/ 105213,39.

Tabla 38. Presupuesto del Biodigestor

Equipos	Precio	Cantidad	Importe
Tubular en polietileno 6 u 22m x 4m ancho	S/. 1800,00	1	S/. 1800,00
Tubo de PVC de 6" x 1m largo	S/. 45,00	1	S/. 45,00
Válvula de control	S/. 50,00	1	S/. 50,00
Filtro para eliminar H2S	S/. 180,00	1	S/. 180,00
Válvula de alivio de presión 1"	S/. 250,00	1	S/. 250,00
Baldes circulares 15GAL (12-18)in	S/. 7,00	8	S/. 56,00
Manguera plastica flexible de jardin 1 1/4	S/. 6,00	6	S/. 36,00
Adaptador macho PVC 1"	S/. 5,00	4	S/. 20,00
Adaptador hembra PVC 1"	S/. 5,00	4	S/. 20,00
T PVC 1"	S/. 9,00	4	S/. 36,00
Codo 90° PVC 1"	S/. 3,00	6	S/. 18,00
Tapon Liso PVC 1"	S/. 2,00	1	S/. 2,00
Tuberia PVC 1/2"	S/. 29,00	2	S/. 58,00
Tuberia PVC 1"	S/. 35,00	2	S/. 70,00
Limpiador de PVC	S/. 15,00	1	S/. 15,00
Pegamento para PVC	S/. 30,00	1	S/. 30,00
Tuberia Galvanizada 1/2" doble rosca	S/. 33,00	2	S/. 66,00
Codo galvanizada 1"	S/. 7,00	4	S/. 28,00
Niple galvanizada 10-12cm x 1" doble rosca	S/. 13,00	4	S/. 52,00
Abrazaderas metalicas ceremallera 1- 1/2	S/. 3,00	8	S/. 24,00
Llave de paso bronce 1/2"	S/. 12,50	1	S/. 12,50
Arandelas > 10cm	S/. 1,00	8	S/. 8,00
Lapiz	S/. 1,00	1	S/. 1,00
Frasco plastico 3-4lt	S/. 3,00	4	S/. 12,00
Lata usada 1/2 gal	S/. 3,00	4	S/. 12,00
Empaque de neumatico usado 20x20cm	S/. 4,00	8	S/. 32,00
Correas de neumatico usadas 5cmx2m	S/. 4,00	16	S/. 64,00
Sacos usados de 40kg polietileno	S/. 1,00	10	S/. 10,00
Ladrillos	S/. 260,00	3	S/. 780,00
Esponjilla o alambrina metalica	S/. 5,00	2	S/. 10,00
Cemento bolsas	S/. 22,50	25	S/. 562,50
Arena amarilla 6 metros	S/. 170,00	2	S/. 340,00

Mano de Obra	Precio	Cantidad	Importe
Mano de Obra de 4 obreros por hora	S/. 80,00	56	S/. 4 480,00
Equipos de Seguridad	S/. 80,00	8	S/. 640,00
Ingeniero Supervisor x hora	S/. 400,00	12	S/. 4 800,00
Tecnico de Instalación x hora	S/. 200,00	14	S/. 2 800,00
Charlas de concientización x día	S/. 150,00	3	S/. 450,00
Otros	S/. 1 000,00	1	S/. 1 000,00

Total del Biodigestor	S/. 18 870,00
------------------------------	----------------------

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°38 podemos apreciar el costo total de la elaboración del biodigestor e incluyendo la mano de obra; con un total de S/18 870,00.

Tabla 39. Presupuesto de los Generadores eléctricos

Equipos	Precio	Cantidad	Importe
Generador eléctrico CH4	S/. 2 200,00	2	S/. 4 400,00
Mano de obra	S/. 300,00	1	S/. 300,00
Rollo de cable de cobre INDECO	S/. 79,00	4	S/. 316,00
Tubo galvanizado	S/. 40,00	5	S/. 200,00
Equipos de protección	S/. 80,00	1	S/. 80,00
Charlas de concientización por día	S/. 150,00	3	S/. 450,00
Otros	S/. 1 000,00	1	S/. 1 000,00
Total de los generadores eléctricos			S/. 6 746,00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°39 podemos apreciar el costo total de los dos generadores eléctricos que funcionaran con metano (CH_4) e incluyendo la mano de obra; con un total de S/ 6 746,00.

Tabla 40. Presupuesto de las Barras Colectoras de Cobre

Equipos	Precio	Cantidad	Importe
Barras Colectoras	S/. 400,00	2	S/. 800,00
Mano de obra	S/. 100,00	2	S/. 200,00
Equipos de protección	S/. 40,00	1	S/. 40,00
Otros	S/. 1 000,00	1	S/. 1 000,00
Total de barras colectoras			S/. 2 040,00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°40 podemos apreciar el costo total de las barras colectoras de cobre e incluyendo la mano de obra; con un total de S/ 2 040,00.

Tabla 41. Presupuesto total de la inversión

INVERSIÓN	Importe
SISTEMA FOTOVOLTAICO	S/. 105 213,39
BIODIGESTOR	S/. 18 870,00
GENERADORES	S/. 6 746,00
BARRAS DE COBRE	S/. 2 040,00
TOTAL A INVERTIR	S/. 132 869,39

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°41 se presenta un resumen del monto total del Sistema Híbrido Fotovoltaico-Biodigestor, con una inversión total de S/ 132 869,39.

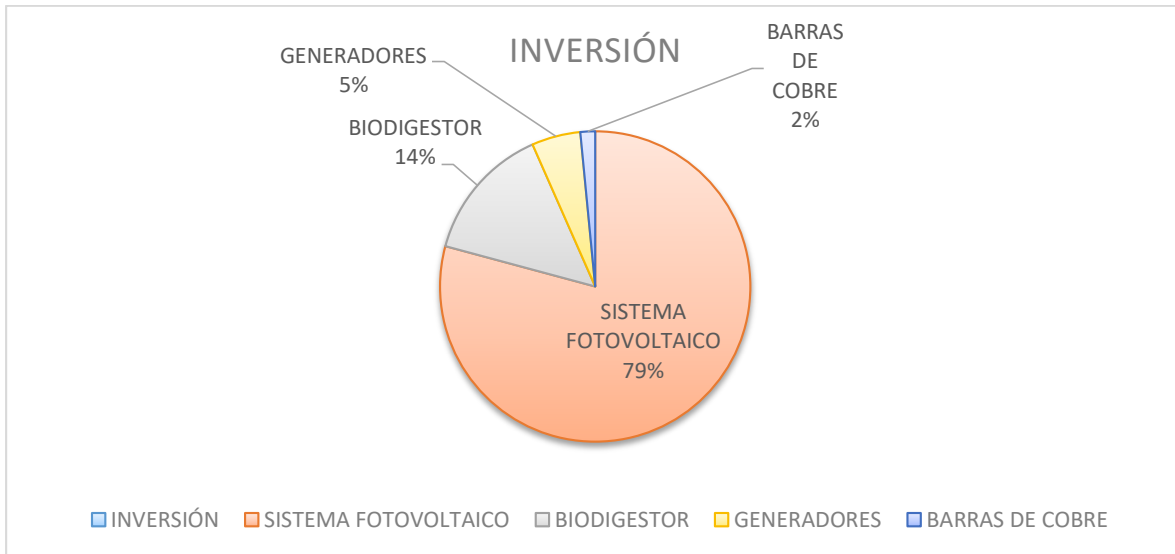


Figura N°21. Porcentajes de gastos del Sistema Híbrido

Fuente: Elaboración propia

En la figura N°21 observamos la inversión en porcentajes y claramente podemos apreciar que la mayor inversión se dará en el Sistema Fotovoltaico con un 79% en gastos, un 14% en el biodigestor, 5% en los generadores eléctricos y por ultimo un 2% en las barras de cobre.

5.2. Costes del Sistema Híbrido

Se va incluir los costes de operación, mantenimiento, costes de aceite para los generadores, respaldo de baterías e inversores y costes de personal.

5.3. Costes de mantenimiento

Los costes de mantenimiento vendrán a ser el 1% del total de la inversión total que en este caso será de 1328,69 Soles.

Tabla 42. Costos de mantenimiento

MANTENIMIENTO	
Mantenimiento de equipos (1%)	S/. 1 328,69

5.4.4. Pagos por mantenimiento

Estos pagos se harán por las 8 viviendas que habitan en el caserío, el costo anual de mantenimiento es de S. / 1328,69; pero como se obtiene un pago adicional de bonos de carbono de S. / 268,51 anualmente entonces esto me quedaría un pago total de S. / 1060,19 anual y mensualmente será S. /. Este costo mensual se dividirá entre las 8 viviendas; entonces cada vivienda debe de pagar 11 soles mensuales.

5.5. Coste del kW/h del sistema Híbrido

Se calcula mediante el LCOE que es el coste teórico de generar energía eléctrica, incluye la inversión inicial, tasa de descuento, así como los costes de mantenimiento y operación. La fórmula para analizarlo es la siguiente.

- t = Vida estimada de la instalación
- i = Inversión inicial
- Mt = costes de operación y mantenimiento
- E = Energía generada durante la vida del sistema
- r = Tasa de descuento

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

$$\text{LCOE} = \frac{\frac{132869,39 + 1328,69}{(1 + 0,12)^1} + \frac{132869,39 + 1328,69}{(1 + 0,12)^2} + \frac{132869,39 + 1328,69}{(1 + 0,12)^3} + \dots + \frac{132869,39 + 1328,69}{(1 + 0,12)^{20}}}{\frac{148849,68}{(1 + 0,12)^1} + \frac{148849,68}{(1 + 0,12)^2} + \frac{148849,68}{(1 + 0,12)^3} + \frac{148849,68}{(1 + 0,12)^4} + \dots + \frac{148849,68}{(1 + 0,12)^{20}}}$$

$$\text{LCOE} = 0,90 \text{ S./ kWh}$$

5.6. Valoración del proyecto

Para el análisis de la inversión se realizará un VAN y un TIR ya que son los métodos más utilizados para evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión.

5.7. Valor actual neto (VAN)

Consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros o en determinar la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial.

5.8. Tasa interna de rentabilidad (TIR)

Se denomina tasa interna de rentabilidad a la tasa de descuento que hace que el valor actual neto de una inversión sea igual a cero ($VAN=0$).

Tabla 44.VAN y TIR

	AÑOS											
	0	1	2	6	7	8	13	14	15	19	20	
INVERSION /EGRESOS	-S/. 132.869,39	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69
Paneles fotovoltaicos	-S/. 105.213,39											
Biodigestor	-S/. 18.870,00											
Generadores	-S/. 6.746,00											
Barras	-S/. 2.040,00											
Mantenimiento		-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69	-S/. 1.328,69
INGRESOS		S/.22.608,69	S/. 22.608,69	S/.22.608,69	S/.22.608,69	S/.22.608,69	S/.22.608,69	S/.22.608,69	S/.22.608,69	S/.22.608,69	S/.22.608,69	S/.22.608,69
Ahorro en combustible gasolina (23 soles diarios)		S/. 8.280,00	S/. 8.280,00	S/. 8.280,00	S/. 8.280,00	S/. 8.280,00	S/. 8.280,00	S/. 8.280,00	S/. 8.280,00	S/. 8.280,00	S/. 8.280,00	S/. 8.280,00
Producción 13 Tonelas maiz		S/.13.000,00	S/. 13.000,00	S/.13.000,00	S/.13.000,00	S/.13.000,00	S/.13.000,00	S/.13.000,00	S/.13.000,00	S/.13.000,00	S/.13.000,00	S/.13.000,00
Bonos de Carbono		S/. 268,51	S/. 268,51	S/. 268,51	S/. 268,51	S/. 268,51	S/. 268,51	S/. 268,51	S/. 268,51	S/. 268,51	S/. 268,51	S/. 268,51
Pagos por mantenimiento		S/. 1.060,19	S/. 1.060,19	S/. 1.060,19	S/. 1.060,19	S/. 1.060,19	S/. 1.060,19	S/. 1.060,19	S/. 1.060,19	S/. 1.060,19	S/. 1.060,19	S/. 1.060,19
BENEFICIOS	-S/. 132.869,39	S/.21.280,00	S/. 21.280,00	S/.21.280,00	S/.21.280,00	S/.21.280,00	S/.21.280,00	S/.21.280,00	S/.21.280,00	S/.21.280,00	S/.21.280,00	S/.21.280,00
VAN =	S/. 26.080,37		(+)									
TIR =	15,04%		>12%									

Al realizar el VAN y el TIR vemos que el proyecto es rentable ya que el VAN salió positivo y el TIR mayor del 12%; entonces dicho proyecto propuesto se puede llevar a cabo sin ningún problema.

Conclusiones

De acuerdo con los datos encontrados para la zona de interés, el nivel de radiación solar promedio mensual varía desde un mínimo de 4,35 kWh/m²día en el mes de noviembre, hasta un máximo de 5,57 kWh/m²día en el mes de marzo.

Se realizó un estudio de proyección de la demanda teniendo como primer punto las viviendas las cuales mediante una encuesta solo se evaluaron a 8 viviendas en el año 2016; y como un máximo de 10 viviendas en el 2036 y la demanda crecerá de 1kW a 1,22 kW.

Se evaluó mediante otra encuesta a los diferentes tipos de animales que se encontraban en el Caserío Pósope Bajo Pátapo y de acuerdo a esto poder realizar el dimensionamiento del biodigestor; se calculó la cantidad de estiércol total que es de 456 kg/día, un volumen gaseoso de 17,072 m³, un volumen líquido de 0,528 m³, y con un tiempo de retención de 40 días.

El generador eléctrico que se seleccionó es de acuerdo a la potencia que se calculó en artefactos y alumbrado público y para realizar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se estimó la carga total en luminarias de casa y 2 bombas de agua.

Para la implementación del proyecto fotovoltaico se estimó que se necesitan 32 paneles solares de 300Wp, 4 reguladores de carga de 50 A, 3 inversores/cargadores multifuncionales y con capacidad para conectarse en paralelo de 3000W cada uno, y 40 baterías SLI modificadas de 150 Ah.

Para seleccionar el sistema híbrido se tomó en cuenta las corrientes de los inversores y los generadores; por ello se seleccionó 2 barras colectoras de cobre que puedan soportar los 80,80 A.

Para poder seleccionar y poner en marcha el sistema híbrido se requiere de una inversión total de S/ 132869,39.

La implementación de sistemas híbridos fotovoltaicos-biodigestor constituye una alternativa de gran importancia en el campo de la electrificación rural. Este tipo de sistema permite brindar una mayor autonomía y reducir los costos totales asociados a un sistema puramente fotovoltaico.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Enríquez Harper, EL ABC DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA, México: Limusa, 2008.
- [2] J. F. Salgado, TECNOLOGÍA DE LAS ENERGIAS RENOVABLES, Madrid: MUNDI-PRENSA, 2009.
- [3] M. A. C. Gil, CENTRALES DE ENERGIAS RENOVABLES, Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, 2009.
- [4] R. Cuervo Garcia, J. M. Mendez Nuñez y B. Veritas Formación, ENERGIA SOLAR TERMICA, España: Fundacion Confemental, 2009.
- [5] M. P. Aparicio, ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, Madrid: MARCOMBO, 2009.
- [6] F. A. c. Durschener y K. H. Remmers, FOTOVOLTAICA PARA PROFECIONALES, España: Progenza, 2006.
- [7] M. A. Sanchez Maza, Energia solar fotovoltaica, Mexico: Limusa, 2010.
- [8] Cooperacion transfronteriza España-Portugal, Informe Complementario sobre el estudio de soluciones Viables para el aprovechamiento del Biogas en extremadura, en el marco del proyecto de cooperacion transfronteriza España-Portugal altercexa, para el apoyo al cambio climatico a través del Fomento de, España-Portugal: Junta de Extremadura, Diciembre 2010.
- [9] C. Lopez Mendoza y O. A. Lopez Solis, «Diseño, construccion y puesta en operacion de un Biodigestor Anaerobio continuo para el laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Veracruzana,» Coatzacoalcos, 2009.
- [10] J. Ocaña Perez-Cerdá, «Biodigestor anaerobio de Laboratorio,» Laganés, España, Octubre 2011.
- [11] Fundación Hábitat, «Una alternativa a la autosuficiencia energetica y de biofertilizantes,» Quimbaya, Quindío, Colombia, 2005.
- [12] A. Guevara Vera, «Fundamentos Basicos Para el Diseño de Biodigestor Anaerobicos Rurales,» Lima, 1996.
- [13] A. ., F. ., C. ., M. M. Sayas, «BIODIGESTORES,» 2012.
- [14] S. Gómez Muñoz, «Diseño, Construccion y Puesta a punto de un Biodigestor Tubular Carazo-Nicaragua,» Carazo, Nicaragua, 2012.

- [15] J. Migliavacca, «Tratamiento anaeróbico de efluentes críticos con captación de biogás para la reducción de gases de efecto invernadero,» Tucumá, 2011.
- [16] J. B. Pascual Francisco, «Rediseño y ensayo de un biodigestor en la granja experimental de la universidad autónoma Chapingo,» Chapingo, México, 2011.
- [17] M. E. Montes Carmona, «Estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de Biogás,» México, 2008.
- [18] A. Guevara Vera, «Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales,» Lima, Perú, 1996.
- [19] J. Martí Herreo, BIODIGESTORES FAMILIARES-GUIA DE DISEÑO Y MANUAL DE INSTALACION, La paz, Bolivia, 2009.
- [20] Comisión de Acción Social Menonita (CASM), «Construcción y Uso de Biodigestor de Producción Energética y Reducción de Emisión de Gases de Efecto Invernadero.,» *actalliance*, pp. 11-12.
- [21] D. O. Arreste, «http://www.diegonate.co.nf/pdf/art_fot_014.pdf,» 29 03 2006. [En línea]. Available: http://www.diegonate.co.nf/pdf/art_fot_014.pdf.
- [22] E. M. C. G. F. E. R. M. F. R. P. A. Johnny Gregorio Cipriano Bautista, «Huella ecológica de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión en el año 2012,» 2012.

VII. ANEXOS

Anexo A

Índice de tasa de crecimiento en Pátapo según INEI

DISTRITO	POBLACION TOTAL CENSADA			INCREMENTO		TASA DE CRECIMIENTO %		PROYECCIONES		
	1981	1993	2007	1981 1993	1993 2007	1981 1993	1993 2007	2014	2019	2024
Chiclayo	213,366	239,887	260,948	26,521	21,061	1.0	0.6	272,140	279,662	287,184
J. L. Ortiz	71,767	119,433	161,717	47,666	42,248	4.3	2.2	182,859	197,961	213,062
La Victoria*	0	60,249	77,699	-	17,450	-	1.8	86,423	92,655	98,887
Pimentel	10,648	18,524	32,346	7,876	13,822	4.7	4.1	39,256	44,193	49,129
Monsefú	22,319	27,986	30,123	5,667	2,137	1.9	0.5	31,191	31,954	32,718
Tumán **	0	0	28,120	-	2,128	-	0.6	29,306	30,154	31,001
Pomalca **	0	0	23,092	-	2,807	-	0.9	24,496	25,498	26,501
Pátapo **	0	0	20,876	-	3,096	-	1.2	22,643	23,906	25,168
Chongoyape	15,943	17,324	17,540	1,378	216	0.7	0.1	17,666	17,756	17,846
Cayaltí **	0	0	16,557	-	-362	-	-0.2	16,326	16,161	15,996
Reque	7,057	9,483	12,606	2,426	3,123	2.5	2.1	14,167	15,283	16,398
Zaña	35,466	40,126	12,013	-	-5,223	-	-2.5	8,283	7,048	5,813
Santa Rosa	5,262	8,641	10,965	3,379	2,324	4.2	1.7	12,127	12,956	13,786
Eten	9,851	11,195	10,673	1,344	-522	1.1	-0.3	10,412	10,226	10,039
Oyotún	8,297	10,452	9,954	2,155	-498	1.9	-0.3	9,744	9,594	9,444
Pucallá **	0	0	9,272	-	2,594	-	2.4	10,850	11,977	13,105
Lagunas	11,336	8,153	9,351	-3,183	1,198	-2.7	1	10,009	10,479	10,949
Pícsi	29,462	41,294	8,942	-	-693	-	-0.5	8,630	8,408	8,185
Nueva Arica	3,072	2,662	2,420	-410	-242	-1.2	-0.7	2,301	2,216	2,131
Eten Puerto	2,162	2,472	2,238	310	-234	1.1	-0.7	2,121	2,037	1,954
TOTAL	446,008	617,881	757,452					800,951	850,124	876,204

Calificación Eléctrica para la Elaboración de Proyectos de Subsistemas de Distribución sScundaria de Acuerdo a la RD N°15-2004-EM/DGE

Cuadro N° 2 - Calificación Eléctrica para la Elaboración de Proyectos de Subsistemas de Distribución Secundaria de Acuerdo a la RD N° 15-2004-EM/DGE

Tipo de habilitación	Sector de Distribución Típico 1 W	Sector de Distribución Típico 2 W	Sector de Distribución Típico 3 W	Sector de Distribución Típico 4 W	Sector de Distribución Típico 5 W
a) Habilitaciones de baja densidad poblacional, tipo 1 (Zonas R1-S y R1)	1 500 + 3 W/m ² hasta un máximo de 10 kW (suministro trifásico)	800 +1 W/m ² hasta un máximo de 5 kW (suministro trifásico)	—	—	—
b) Habilitaciones de baja densidad poblacional, tipos 2 (Zonas R2)	1 500	800	—	—	—
c) Habilitaciones de media densidad poblacional, tipo 3 (Zona R3)	1 300	700	500	—	—
d) Habilitaciones de media densidad poblacional, tipo 4 (Zona R4)	900 (suministro monofásico)	900 (suministro monofásico)	700 (suministro monofásico)	—	—
e) Habilitaciones de alta densidad poblacional, para viviendas multifamiliares	11 W/m ² del área techada total, con un mínimo de 900 W	11 W/m ² del área techada total, con un mínimo de 700 W	—	—	—
f) Habilitaciones para vivienda taller (Zona I1-R)	1 000	1 000	1 000	—	—
g) Habilitaciones para vivienda en vías de regularización (parcial o totalmente edificadas), calificadas como Centros Poblados, incluyendo agrupaciones de vivienda en zonas rurales	700 300 (*) (suministro monofásico)	300 200 (*) (suministro monofásico)	250 200 (*) (suministro monofásico)	250 200 (*) (suministro monofásico)	200 (suministro monofásico)
h) Habilitaciones para vivienda en vías de regularización (parcial o totalmente edificadas), calificadas como Asentamientos Humanos Marginales o Pueblos Jóvenes	700 (suministro monofásico)	400 (suministro monofásico)	300 (suministro monofásico)	300 (suministro monofásico)	250 (suministro monofásico)
i) Habilitaciones pre-Urbanas, tipos pecuarios o huertas (Zona P-U)	2 000	1 500	1 500	1 000	1 000
j) Lotizaciones para la industria elemental y complementaria de apoyo a la industria de mayor escala (Zona I1)	4 000	1 100	—	—	—

Proyección de población total y de viviendas a electrificar

B. Proyeccion												
Años												
DESCRIPCIÓN	NOMB. CELDA	FORMULAS	0	1	2	9	10	11	15	16	19	20
			2016	2017	2018	2025	2026	2027	2031	2032	2035	2036
Poblacion Total	P	$P = P_0(1 + r)^n$	32	32	33	35	35	36	37	38	39	39
Indice de Habitantes por Vivienda	IHV		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Viviendas Totales	VT	P/IHV	8	8	8	9	9	9	9	9	10	10
Coficiente de Electrificación	CE		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Viviendas a Electrificar	AT	VT x CE	8	8	8	9	9	9	9	9	10	10
La proyeccion de viviendas a electrificar son de 8 a 10 casas en 20 años futuros												

Demanda de energía en kW en los 20 años futuros

C. Demanda										
Años	0	1	2	9	10	11	15	16	19	20
NUV x CE x FS (W)	1000	1010	1020,1	1093,68527	1104,62213	1115,6683	1160,96896	1172,57864	1208,10895	1220,19004
NUV x CE x FS (kW)	1	1,01	1,0201	1,09368527	1,10462213	1,1156683	1,16096896	1,17257864	1,20810895	1,22019004
N° de usuarios por vivienda a electrificar										
Calificacion electrica (W)	250									
Factor de simultaneidad	0,5									
Demanda de energia en los años 2016 al 2036 es de 1KW a 1,22KW										

Anexo B

Aporte de estiércol diario por especie

Aporte de estiércol diario por especie	
Ganado	kg de estiércol fresco producido por cada 100 Kg. de peso del animal
Cerdo	4
Bovinos	8
Caprino	4
Conejos	3
Equino	7
Humano adulto	0,4 Kg. por adulto
Humano niño	0,2 Kg. por niño

Fuente: Manual para su instalación, operación y utilización.

Índice para determinar la producción de biogás a partir del peso y características de la biomasa

Índices para determinar la producción de biogás a partir del peso y características de la biomasa

	EXCRETA HÚMEDA DIARIA (KG/ANIMAL)	BIOGÁS (M ³ /DÍA)	PROPORCIÓN EXCRETA-AGUA	TIEMPO DE RETENCIÓN ACONSEJABLE (DÍA)
VACA	10	0,360	1:1	40
TORO	15	0,540	1:1	40
CERDO	2,25	0,101	1:1-3	40
POLLO	0,18	0,108	1:1-8	30
CABALLO	10	0,300	1:1-3	30
CARNERO	2	0,100	1:1-3	40
TERNERO	5	0,200	1:1	40
PERSONA ADULTA	0,40	0,025	1:1	60
CACHAZA	0,035 kg/kg	0,100	1:4	30
RESIDUAL DE MATADERO	(1 m ³ biogás/25 kg de residuos)			40
RESIDUAL DE DESTILERÍA	(15 m ³ biogás/m ³ de residuos)			40
RESIDUAL DE LEVADURA	(4 m ³ biogás/m ³ de residuos)			40
LÍQUIDO DEL CAFÉ	(5 m ³ biogás/m ³ de residuos)			40
CÁSCARA DE CAFÉ	(0,1 m ³ biogás/m ³ de residuos)			50
CÁSCARA DE CAFÉ	(0,4 m ³ biogás/25 kg de materia sea)			60

Fuente: Manual para su instalación, operación y utilización.

Anexo C

Generador eléctrico de metano



Características del generador eléctrico 3,5 kW de potencia

generador	tensión nominal (V)	230 V/110 V	230/110 V	230/110 V	230/110 V
	potencia nominal (KW)	3KW	3.5KW	5KW	10KW
	frecuencia nominal (HZ)	50 HZ/60 HZ	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz
motor	combustible	20	20	25	30
	Bore * stroke (mm)	4X105X25	6X110X25	8X110X25	10X120X30
	cilindrada (cc)	88X64	90X65	90X65	100X70
	capacidad del depósito (L)	20	22	25	30
	relación de compresión	8.0: 1	8.0: 1	8.0: 1	8.0: 1
	sistema de arranque	Transistor magneto	Transistor magneto	Transistor magneto	Transistor magneto
	ruido en el 7 m (dB)	70dB	70dB	70dB	70dB
	Método de enfriamiento	agua de refrigeración	agua de refrigeración	agua de refrigeración	agua de refrigeración
embalaje	N.g./G.W (KGS)	120/200	120/200	125/205	130/210
	Tamaño del paquete (mm)	700X500X550	700X500X550	700X500X550	720X525X575

Se seleccionó dos generadores de 3,5 kW que trabajan con una frecuencia de 50/60 Hz de marca KIGER para poder satisfacer mi demanda de 7kW por día

Anexo D

Panel marca ATERSA OPTIMUM A-xxxP GSE de 300W 24V policristalino



Se seleccionó el siguiente panel de 300 W con las siguientes características mostradas.

A-xxxP GSE (xxx = potencia nominal)

Características eléctricas

Potencia Máxima (Pmax)	280 W	290 W	300 W	310 W
Tensión Máxima Potencia (Vmp)	35.67 V	35.84 V	36.19 V	36.53 V
Corriente Máxima Potencia (Imp)	7.86 A	8.11 A	8.34 A	8.57 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	44.17 V	44.51 V	44.84 V	45.18 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	8.33 A	8.55 A	8.78 A	9.01 A
Eficiencia del Módulo (%)	14.38	14.89	15.41	15.92
Tolerancia de Potencia (W)	0/+5			
Máxima Serie de Fusibles (A)	15			
Máxima Tensión del Sistema	DC 1000 V (IEC) / DC 600 V (UL)			
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula (°C)	46±3			

Características eléctricas medidas en Condiciones de Test Standard (STC), definidas como: Irradiación de 1000 w/m², espectro AM 1.5 y temperatura de 25 °C.
Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp).

Especificaciones mecánicas

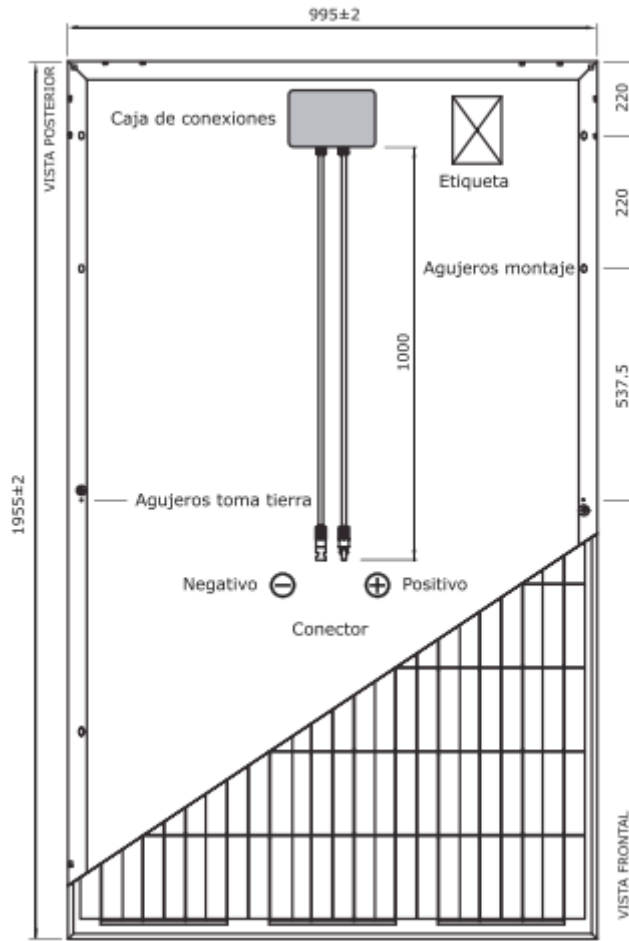
Dimensiones	1955x995x50 mm
Peso	23.5 kg
Máx. carga estática, frontal (nieve y viento)	5400 Pa
Máx. carga estática, posterior (viento)	2400 Pa

Materiales de construcción

Cubierta frontal (material/tipo/espesor)	Cristal templado/grado PV/3.2 mm.
Células (cantidad/tipo/dimensiones)	72 células (6x12)/Policristalina/156 x 156 mm.
Marco (material/color)	Aleación de aluminio anodizado/plata
Caja de conexiones (grado de protección)	IP65
Cable (longitud/sección)/ Connector	1000 mm./ 4 mm ² / Compatible MC4

Vista genérica construcción modulo

Vista genérica construcción módulo



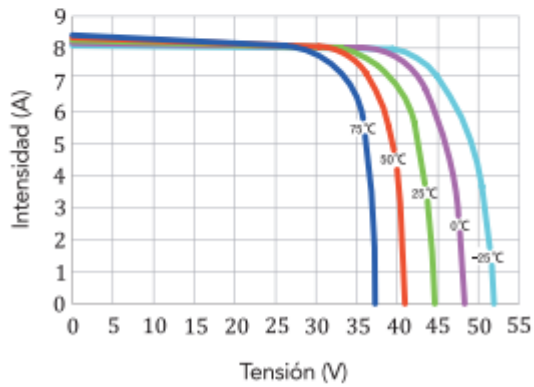
Características de temperatura

Coef. Temp. de Isc (TK Isc)	0.06% /°C
Coef. Temp. de Voc (TK Voc)	-0.34% /°C
Coef. Temp. de Pmax (TK Pmax)	-0.44% /°C
Temperatura de Funcionamiento	-40 a +85 °C

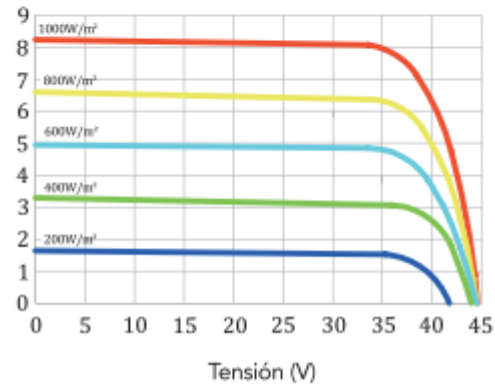
Embalaje

Módulos/palé	20 pzas
Palés/contenedor 40'	22 pzas
Módulos/contenedor 40'	440 pzas

Temperatura Varía



Irradiación Varía



Selección de la Batería

Batería Bosch



Para el desarrollo del cálculo fotovoltaico se seleccionó el tipo de batería con el código S5X150D con siguientes características y dimensiones.

S5

Código simplificado Bosch	Número Bosch	Características eléctricas			Dimensional (mm)			Esquema de montagem	Fix.	Peso (Kg)	Tipo polo	Terminal positivo
		C20 (Ah)	RC (min.)	CCA -18 °C (A)	C	L	A					
S5X 32DA	0 092 S58 035	32	44	280	187	127	225	A12	F4	9,8	2	direita
S5X 45D	0 092 S58 015	45	65	375	210	175	175	A12	F1	11,5	1	direita
S5X 45E	0 092 S58 025	45	65	375	210	175	175	A11	F1	11,5	1	esquerda
S5X 45DA	0 092 S58 055	45	60	340	238	129	225	A12	F4	12,2	2	direita
S5X 45EA	0 092 S58 065	45	60	340	238	129	225	A11	F4	12,2	2	esquerda
S5X 50D	0 092 S58 075	50	75	410	207	175	190	A12	F1	12,9	1	direita
S5X 55D	0 092 S58 085	55	90	425	240	175	175	A12	F1	13,5	1	direita
S5X 55E	0 092 S58 095	55	90	425	240	175	175	A11	F1	13,5	1	esquerda
S5X 60DH	0 092 S58 105	60	90	480	242	175	190	A12	F1	14,6	1	direita
S5X 60EH	0 092 S58 115	60	90	480	242	175	190	A11	F1	14,6	1	esquerda
S5X 65D	0 092 S58 125	65	105	600	281	175	175	A12	F2	16,6	1	direita
S5X 65E	0 092 S58 135	65	105	600	281	175	175	A11	F2	16,6	1	esquerda
S5X 75D	0 092 S58 145	75	105	530	273	170	226	A12	F3	18,7	1	direita
S5X 75DA	0 092 S58 385	75	130	630	254	175	222	A12	F1/F3	18,3	1	direita
S5X 75E	0 092 S58 155	75	105	530	273	170	226	A11	F3	18,7	1	esquerda
S5X 90D ⁺	0 092 S58 225	90	165	710	320	171	227	A12	F4	22,9	1	direita
S5X 90E ⁺	0 092 S58 215	90	165	710	320	171	227	A11	F4	22,9	1	esquerda
S5X 90DA	0 092 S58 395	90	160	710	254	175	222	A12	F1/F3	22,0	1	direita
S5X 100E	0 092 S58 185	100	180	750	330	172	241	A11	F4	24,9	1	esquerda
S5X 150D	0 092 S58 195	150	290	900	510	213	236	B21	F4	42,0	1	direita
S5X 170D	0 092 S58 205	170	330	1000	510	213	236	B21	F4	45,7	1	direita
S5X 180D	0 092 S58 365	180	360	1050	513	223	218	B21	F4	45,1	1	direita
S5X 180E	0 092 S58 375	180	360	1050	513	223	218	B25	F4	45,1	1	esquerda
S5X 200D	0 092 S58 235	200	360	1100	530	280	246	B21	F4	57,0	1	direita

Fuente: Manual de baterías Bosch

Selección del Regulador

Regulador solar de carga

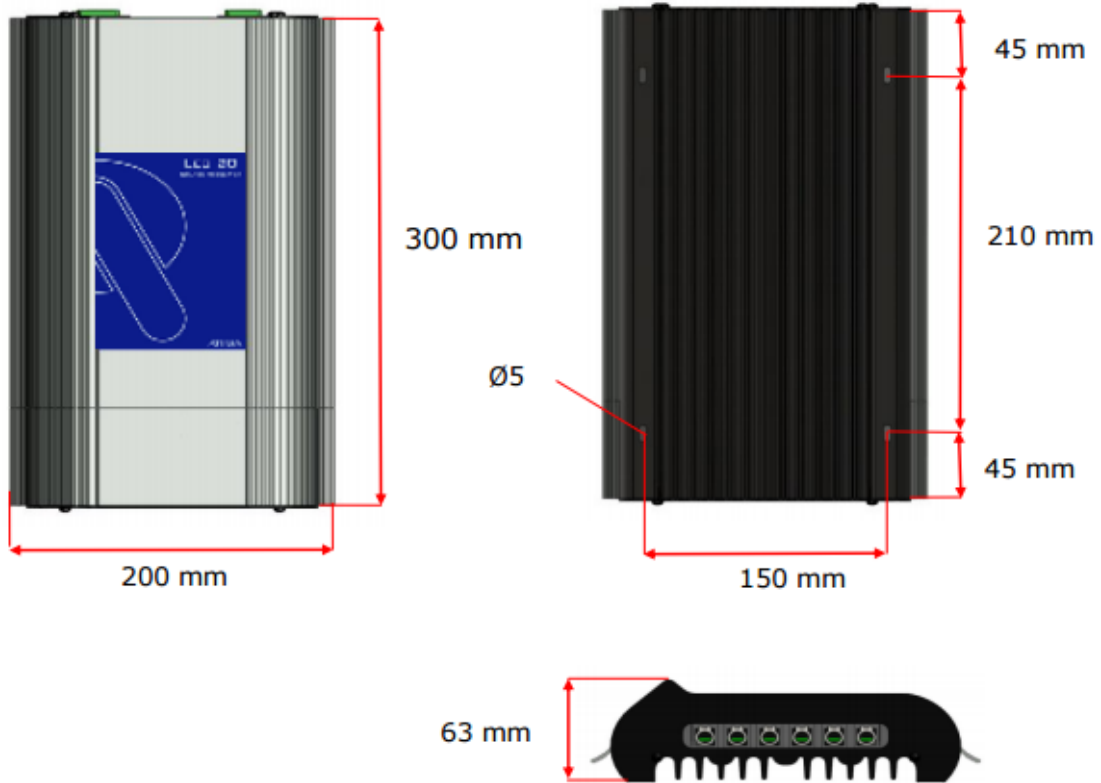


Características eléctricas del regulador.

Características eléctricas		
Tensión Nominal (V)(*)	12 / 24	<input type="text" value="48"/>
Tensión máx Trabajo (V)	45	90
Consumo medio regulador (mA)	10	
Corriente máx. Paneles Constante (A) I_N	50	
Corriente máx. Consumo Constante (A) I_N	50	
Corriente máx. Paneles durante 1 minuto (A) $1.2 \cdot I_N$	60	
Corriente max. Consumo durante 1 minuto (A) $1.2 \cdot I_N$	60	
Corriente de cortocircuito en paneles (A)	<input type="text" value="50"/>	50
Corriente de cortocircuito en consumo (A)	-	
Tiempo de detección de cortocircuito.	< 500 μ s	
Rango de Temperatura de funcionamiento	-20..+40 °C	
Rango de Temperatura de almacenamiento	-20..+75 °C	
Precisión Medida Tensión	2 % FS + 2 dígitos	
Resolución interna de la Tensión	0.1 V	
Resolución de la Corriente	0.01 A	
Teclado 4 teclas.	NO	
Display LCD bajo consumo	SI	
Humedad relativa (sin condensaciones)	< 90%	
Máx. Sección admisible en las bornas (mm ²)	25	
Altura máxima de trabajo (**)	2500m	

Dimensiones del regulador solar de carga

Base de: 300 x 200 x 64 mm. Distancia entre los taladros de 150mm. Peso aproximado: 1,90 kKg. Protección IP20



Selección del inversor de carga

Inversor de carga Sealed GTFX



Características del inversor de carga

				<i>Sealed Models</i>	
				GTFX2524	GTFX3048
Nominal DC Input Voltage				24 VDC	48 VDC
Continuous Power Rating at 25° C				2500 VA	3000 VA
AC Voltage/Frequency				220 VAC 60 Hz	220 VAC 60 Hz
Continuous AC RMS Output at 25° C				20.8 amps AC	25.0 amps AC
Idle Power	Full			20 Watts	20 Watts
	Search			~ 6 Watts	~ 6 Watts
Typical Efficiency				92%	93%
Total Harmonic Distortion	Typical			2%	2%
	Maximum			5%	5%
Output Voltage Regulation				± 2%	± 2%
Maximum Output Current	Peak			70 amps AC	70 amps AC
	RMS			50 amps AC	50 amps AC
AC Overload Capability	Surge			6000 VA	6000 VA
	5 Second			4800 VA	4800 VA
	30 Minutes			3200 VA	3200 VA
AC Input Current Maximum				60 amps AC	60 amps AC
Sell Back Voltage Range*				108 to 132 VAC	108 to 132 VAC
AC Input Frequency Range				59.3 to 60.5 Hz	59.3 to 60.5 Hz

Selección del conductor

Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores aislados para 0 a 2000 V nominales y 60°C a 90°C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o directamente enterrados, para una temperatura ambiente de 30°C

Calibre AWG o kcmil	Área de la sección transversal nominal mm ²	Temperatura nominal del conductor					
		60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C
		TW TWD CCE	THW, RHW THW-LS THWN XHHW	RHH, RHW-2 THHN, THW-2 TTHW-LS, XHHW-2	UF	RHW XHHW	RHW-2 XHHW XHHW-2 DRS
Cobre			Aluminio				
14	2,08	20*	20*	25*	-	-	-
12	3,31	25*	25*	30*	-	-	-
10	5,26	30	35*	40*	-	-	-
8	8,37	40	50	55	-	-	-
6	13,3	55	65	75	40	50	60
4	21,2	70	85	95	55	65	75
2	33,6	95	115	130	75	90	100
1/0	53,5	125	150	170	100	120	135
2/0	67,4	145	175	195	115	135	150
3/0	85,0	165	200	225	130	155	175
4/0	107	195	230	260	150	180	205
250	127	215	255	290	170	205	230
300	152	240	285	320	190	230	255
350	177	260	310	350	210	250	280
400	203	280	335	380	225	270	305
500	253	320	380	430	260	310	350
600	304	355	420	475	285	340	385
750	380	400	475	535	320	385	435
1000	507	455	545	615	375	445	500

Con esta tabla se seleccionó el calibre del conductor de tramo Panel – Regulador

$$S(\text{mm}^2) = 20,2796 \text{ mm}^2$$

También se seleccionó el mismo calibre para el Regulador – Acumulador

$$S(\text{mm}^2) = 17,94 \text{ mm}^2$$

Tamaño nominal mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos

Capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. Sin exceder de (A)	Tamaño nominal mm ² (AWG o kcmil)	
	Cable de Cobre	Cable de Aluminio
15	2,08 (14)	--
20	3,31 (12)	--
30	5,26 (10)	--
40	5,26 (10)	--
60	5,26 (10)	--
100	8,37 (8)	13,3 (6)
200	13,3 (6)	21,2 (4)
300	21,2 (4)	33,6 (2)
400	33,6 (2)	42,4 (1)
500	33,6 (2)	53,5 (1/0)
600	42,4 (1)	67,4 (2/0)
800	53,5 (1/0)	85,0 (3/0)
1000	67,4 (2/0)	107 (4/0)

Con esta tabla se seleccionó el calibre del conductor de tramo del inversor al tablero.