



Simulación de un sistema híbrido (biomasa/solar) para la producción de energía eléctrica en Corabastos de Bogotá

María Paula Pérez Cifuentes

Lina María Monroy Suárez

Universidad EAN
Facultad de Ingeniería
Ingeniería en Energías
Bogotá D.C., Colombia
2023

**Simulación de un sistema híbrido (biomasa/solar) para la producción de
energía eléctrica en Corabastos de Bogotá**

María Paula Pérez Cifuentes

Lina María Monroy Suárez

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniera en Energías

Director (a):

Leidy Natalia Zapata

Universidad EAN
Facultad de Ingeniería
Ingeniería en Energías
Bogotá D.C., Colombia

2023

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Bogotá D.C. 14 - Junio – 2023

Dedicatoria

A nuestros padres, amigos y tutora académica por acompañarnos en este proceso, con su apoyo y amor incondicional para ser mejores personas y profesionales. Este es el fruto del esfuerzo, la constancia y dedicación que nos enseñaron a tener día a día.

Resumen

La investigación analiza la simulación de un sistema híbrido de energía eléctrica a partir de dos componentes, biomasa y energía solar fotovoltaica, para implementarse en la plaza de mercado Corabastos en Bogotá, para contrarrestar el principal problema del sector, que es el manejo deficiente de residuos sólidos orgánicos producidos por la misma, y la deficiencia en la generación de energía eléctrica generando un mal servicio en la prestación de energía que no beneficia a comerciantes y clientes.

La simulación de este sistema se realizó mediante los softwares *PVsyst* y *BiogasWorld*, para el componente de energía solar fotovoltaica y biomasa, respectivamente. La combinación de energía solar fotovoltaica y la biomasa es una alternativa sostenible, rentable y viable para abastecer de energía eléctrica a la plaza de mercado Corabastos, beneficiando a la comunidad local, pues lograría cubrir gran parte de la demanda energética de las bodegas de la plaza. Además, se determinó que el manejo eficiente de los residuos sólidos orgánicos a través de la producción de biogás puede contribuir significativamente al desarrollo de Corabastos, puesto que se crea una independencia energética en el sector y abre las puertas a la propuesta y desarrollo de planes de aprovechamiento sostenibles que van de la mano con las gestiones ambientales del país.

Palabras clave: Aprovechamiento, Biomasa, Electricidad, Energía, Producción Residuos.

Abstract

The present investigation develops the analysis of the simulation of a hybrid electric power generation system from two components, biomass and photovoltaic solar energy, to be implemented in the Corabastos market square in the city of Bogotá, in order to counteract The main problem found in this sector, which is the deficient management of organic solid waste produced by it, and the deficiency in the generation of electric power, generating a bad service in the provision of electric power that does not benefit merchants and customers.

The simulation of this system was carried out using the PVSyst and BiogasWorld software, for the photovoltaic solar energy and biomass component, respectively. The combination of photovoltaic solar energy and biomass is presented as a sustainable, profitable and viable alternative to supply electricity to the Corabastos market place, benefiting the local community since it would cover a considerable part of the energy demand of the warehouses in the square In addition, it was determined that the efficient management of organic solid waste through the production of biogas can significantly contribute to the development of Corabastos, since energy independence is created in the sector and opens the doors to the proposal and development of energy plans. sustainable use that go hand in hand with the country's environmental efforts.

Keywords: *Exploitation, Biomass, Electricity, Energy, Waste Production.*

Tabla de contenido

| | <u>Pág.</u> |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| LISTA DE FIGURAS..... | VIII |
| LISTA DE TABLAS | ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 10 |
| 2. OBJETIVOS | 11 |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL..... | 11 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 11 |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 12 |
| 4. MARCO DE REFERENCIA | 17 |
| 4.1. MARCO TEÓRICO | 17 |
| 4.2. MARCO LEGAL..... | 38 |
| 5. MARCO INSTITUCIONAL | 41 |
| 6. DISEÑO METODOLÓGICO | 43 |
| 7. DIAGNÓSTICO ORGANIZACIONAL | 45 |
| 7.1. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS | 46 |
| 7.2. ANÁLISIS DE DATOS..... | 63 |
| 8. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES..... | 69 |
| 8.1. RECOMENDACIONES | 69 |
| 8.2. CONCLUSIONES..... | 70 |
| 9. REFERENCIAS | 71 |
| A. ANEXO. PRINCIPALES REFERENTES BIBLIOGRÁFICOS..... | 77 |

Lista de figuras

| | <u>Pág.</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| FIGURA 1. ZONIFICACIÓN DE LA CENTRAL DE ABASTOS DE BOGOTÁ D.C. | 13 |
| FIGURA 2. ETAPAS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA EN UN BIODIGESTOR, CON PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOFERTILIZANTE | 19 |
| FIGURA 3. PARTES DEL BIODIGESTOR. | 21 |
| FIGURA 4. BIODIGESTOR TIPO HINDÚ | 23 |
| FIGURA 5. BIODIGESTOR DOMO FIJO | 24 |
| FIGURA 6. BIODIGESTOR DE GLOBO | 25 |
| FIGURA 7. BIODIGESTOR DE PLÁSTICO DE BAJO COSTO | 26 |
| FIGURA 8. SUSTRATOS PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS..... | 27 |
| FIGURA 9. POTENCIAL DE GENERACIÓN POR TIPO DE RESIDUO | 28 |
| FIGURA 10. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS. | 31 |
| FIGURA 11. ESQUEMA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO ON-GRID. | 31 |
| FIGURA 12. ESQUEMA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID | 32 |
| FIGURA 13. ESQUEMA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BOMBEO. | 33 |
| FIGURA 14. PORCENTAJE DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLOMBIA CON FUENTES RENOVABLES Y NO RENOVABLES ENTRE EL AÑO 2020 Y 2021. | 34 |
| FIGURA 15. FIGURA A LA IZQUIERDA, CÉLULA DE POLICRISTALINO Y FIGURA A LA DERECHA, CÉLULA DE MONOCRISTALINO..... | 35 |
| FIGURA 16. ESTRUCTURA DE UN PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO | 36 |
| FIGURA 17. FOTOGRAFÍA SATELITAL DE CORABASTOS Y LA PLAZA DE MERCADO LAS FLORES EN LA LOCALIDAD DE KENNEDY. | 41 |
| FIGURA 18. INGRESO DE DATOS SOBRE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS PROMEDIO EN TON/AÑO. 50 | |
| FIGURA 20. CUBIERTAS APTAS PARA LA INSTALACIÓN DE LOS PANELES SOLARES. | 53 |
| FIGURA 21. DATOS METEOROLÓGICOS DE BOGOTÁ POR AÑO. | 53 |
| FIGURA 22. MAPA DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO ANUAL DE BOGOTÁ, COLOMBIA..... | 54 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| FIGURA 24. DESCRIPCIÓN DE LOS ASPECTOS GENERALES DE LA UBICACIÓN DEL PROYECTO, DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y LOS PRINCIPALES RESULTADOS. | 57 |
| FIGURA 25. CARACTERÍSTICAS Y CANTIDADES DE LOS SUMINISTROS ESCOGIDOS PARA LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA. | 58 |
| FIGURA 26. ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS DEL SISTEMA A CAUSA DE LOS DISTINTOS FACTORES. | 59 |
| FIGURA 27. DIAGRAMA DE BARRAS QUE REPRESENTA LA ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN ANUAL DE ENERGÍA DEL SISTEMA. | 60 |
| FIGURA 28. DIAGRAMAS DE PÉRDIDAS DE LA SIMULACIÓN. | 61 |
| FIGURA 29. DETALLES DE LAS EMISIONES DE CO₂ | 62 |
| FIGURA 30. GRÁFICA DE GENERACIÓN PROMEDIO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LA ZONA 1 (TON/DÍA) | 65 |
| FIGURA 31. GRÁFICA DE GENERACIÓN PROMEDIO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LA ZONA 2(TON/DÍA) | 66 |

1. Introducción

El desarrollo de sistemas híbridos de generación de energía eléctrica permite aprovechar de manera eficiente los recursos naturales y reducir la dependencia de combustibles fósiles. En el caso particular de la plaza de mercado Corabastos de Bogotá, la implementación de un sistema de este tipo es viable, ya que este centro de acopio de alimentos genera a diario grandes cantidades de residuos sólidos orgánicos que pueden ser utilizados como fuente de energía renovable a partir de la biomasa.

Además de esto, Corabastos ha experimentado frecuentes fallas en su infraestructura eléctrica, lo que ha generado grandes pérdidas económicas para los comerciantes y trabajadores del lugar. Para abordar estas problemáticas se desarrolló una simulación del sistema híbrido utilizando los softwares *PVsyst* y *BiogasWorld*. Esta simulación permitió evaluar el potencial de generación de energía eléctrica del sistema y su capacidad para cubrir parte de la demanda energética de Corabastos. Asimismo, se evaluó la viabilidad técnica y eficiencia de la implementación del sistema híbrido en el centro de acopio. En términos energéticos, la implementación del sistema híbrido permitiría cubrir una parte de la demanda energética del lugar proporcionándoles calidad en la prestación del servicio.

Con este sistema, la población trabajadora de Corabastos se vería beneficiada, ya que se reducirían los costos de energía eléctrica, lo que tendría un impacto positivo en la economía del lugar. En definitiva, la simulación del sistema híbrido es una herramienta valiosa para la investigación y el desarrollo de soluciones sostenibles en el sector energético, que pueden tener un impacto significativo en el bienestar de las comunidades locales y en la protección del medio ambiente.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Simular la eficiencia de un sistema híbrido (Biomasa/Solar) para la producción de energía eléctrica en la plaza de mercado Corabastos en Bogotá.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar la cantidad de residuos sólidos orgánicos utilizables para la producción de energía eléctrica por medio de biogás en la plaza de mercado Corabastos en la ciudad de Bogotá
- Determinar la producción de biogás a partir de los residuos sólidos orgánicos por medio del simulador *Biogas World*.
- Analizar la viabilidad técnica de la producción de energía solar fotovoltaica a partir de las variables ambientales y las características específicas de los equipos por medio del simulador PVsyst.
- Calcular la eficiencia en la producción de energía eléctrica del sistema híbrido.

3. Justificación

En 2019, el Ministerio de Ambiente de Colombia emitió la Resolución No. 2184 con el objetivo de promover la separación de residuos en todo el país, fomentando así una cultura ciudadana a través de un código de colores para tres tipos de residuos: negro, blanco y verde. A pesar de esta regulación, la práctica de la separación de residuos aún no es un hábito común entre los ciudadanos, lo que ha causado impactos negativos en el medio ambiente y la calidad de vida. Por esta razón, en la presente investigación se propone una solución que utilice fuentes renovables para contrarrestar el impacto ambiental en la Plaza de Mercado Corabastos de Bogotá.

Corabastos, situada en la localidad de Kennedy en el suroccidente de Bogotá, es la central de abastecimiento de alimentos más grande del país. Sin embargo, en esta plaza se pueden identificar dos grandes problemas que han llevado al deterioro de sus instalaciones y a la insatisfacción de los trabajadores y comerciantes.

En Corabastos, la cantidad de residuos sólidos orgánicos generados diariamente es de aproximadamente 322,3 m³, según datos de Corabastos en 2022. Esta cifra se explica porque esta plaza de mercado es la más grande de la ciudad y del país, y abastece a pequeñas plazas y ciudadanos en busca de provisiones. Durante las largas jornadas de trabajo, se pierde mucha mercancía debido a la manipulación y el transporte, lo que contribuye a que la cantidad de residuos sólidos orgánicos generados al final del día sea elevada.

La mayoría de los residuos en Corabastos son orgánicos, por lo que se ha llevado a cabo una zonificación para identificar las áreas con mayor tasa de generación y tipos de residuos. En la figura 1 se puede observar cómo se ha organizado Corabastos para la gestión de los residuos sólidos orgánicos.

En Corabastos, además de la venta de alimentos perecederos, también se comercializan productos cárnicos, lo que puede ser perjudicial en caso de fallas eléctricas, ya que pueden provocar pérdidas de mercancía. Además, según se indica en el anexo mencionado, no se ha individualizado la medida de energía, lo que permite que algunos usuarios conecten cargas indiscriminadas de todo tipo, como luminarias, herramientas de trabajo eléctrico, compresores, soldadores, taladros, pulidoras, entre otros. Esta situación puede generar cobros injustos para algunos usuarios, ya que no corresponden al tipo de actividades que realizan. (Corabastos, 2022)

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, en la siguiente figura se detallan las causas y los efectos de esta problemática que involucran a la población trabajadora y población aledaña de Corabastos Bogotá:

De acuerdo con la problemática encontrada surge la siguiente pregunta de investigación:
¿Cómo mejorar el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos de la central Corabastos de Bogotá por medio de una simulación de un sistema híbrido (solar/biomasa) para la generación de energía eléctrica?

La plaza de abastos más grande de Colombia, Corabastos, ubicada en la localidad de Kennedy en Bogotá, genera alrededor de 322,3 m³/día de residuos sólidos orgánicos. Según un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la exposición a este tipo de residuos puede tener graves consecuencias para el medio ambiente y la salud pública, incluyendo enfermedades respiratorias y gastrointestinales, especialmente para las personas que trabajan cerca de ellos, así como en la recolección de los residuos. Además, la descomposición de la materia orgánica produce gases de efecto invernadero, como el metano, contribuyendo al cambio climático según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) en 2019. Por otro lado, la contaminación del suelo y cuerpos de agua cercanos a los vertederos y sitios de disposición final de residuos puede tener efectos negativos en la biodiversidad y las comunidades aledañas, como señala el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) en 2019.

Las plazas de mercado Quiriguá, Ferias, Doce de Octubre y Siete de Agosto en Bogotá han implementado una iniciativa liderada por la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos-UAESP, que aprovecha la generación de residuos sólidos orgánicos

para producir compost, lombricultura y ensilaje. El objetivo de esta iniciativa es mejorar la vida útil del relleno sanitario, contrarrestar los niveles de pérdida de los residuos y garantizar un adecuado manejo de estos. Según el reporte de recolección, se recogen un total de 843 toneladas de desechos en estas cuatro plazas, y se han generado 179.5 toneladas de compost y 16.9 toneladas de lombricomposta (Cortés, 2016). Estos resultados demuestran que estas iniciativas son efectivas para garantizar el adecuado manejo de los residuos orgánicos.

En Colombia, se han implementado programas como el "Programa Biogás Colombia", que busca promover la producción de biogás a partir de residuos sólidos orgánicos en distintos sectores, incluyendo la agroindustria, la ganadería y otros. Este programa ofrece asesoría técnica y financiera para la implementación de proyectos de biogás. Además, en Bogotá se encuentra la planta de biogás de El Salitre, que utiliza residuos sólidos orgánicos generados en la ciudad para producir biogás y abono orgánico. Esta planta es un ejemplo de cómo se pueden utilizar los residuos sólidos orgánicos para generar energía limpia y fertilizante natural, contribuyendo así al manejo adecuado de los residuos sólidos orgánicos y a la mitigación del cambio climático.

En el municipio de Envigado, se ha implementado un proyecto de producción de biogás en la plaza de mercado, liderado por la alcaldía y la universidad Pontificia Bolivariana. El objetivo de este proyecto es reducir la cantidad de residuos sólidos orgánicos generados en la plaza de mercado y mejorar su aprovechamiento convirtiéndolos en recursos útiles, como la generación de energía limpia y los fertilizantes naturales. Este proyecto es un ejemplo de cómo se pueden implementar soluciones sostenibles para el manejo de residuos, contribuyendo así a la protección del medio ambiente y al desarrollo socioeconómico de la región (Contraloría de Envigado, 2011).

La plaza de mercado Corabastos de Bogotá presenta deficiencias identificadas en investigaciones de la corporación entre julio de 2021 y septiembre de 2022. Según las investigaciones, comerciantes recibieron 80 solicitudes perjudicadas por el inadecuado manejo de residuos sólidos orgánicos y lixiviados, lo que genera malos olores. Asimismo, se han reportado problemas en la prestación de energía eléctrica y apagones debido a la falta de mantenimiento en la infraestructura eléctrica, lo que representa un riesgo para los comerciantes.

Aunque Corabastos ha realizado estudios para solucionar problemas relacionados con el suministro eléctrico, hasta ahora no se han implementado las soluciones necesarias. Como consecuencia, las instalaciones eléctricas de la plaza están en estado crítico por la falta de mantenimiento y su obsolescencia, ya que su vida útil es muy antigua y se exponen a sobrecargas y a la falta de uso inadecuado de sistemas de protección. Estos problemas, según Corabastos en su informe del 2022, agravan los riesgos para la seguridad de los comerciantes y de la infraestructura de la plaza. (Corabastos, 2022).

Las deficiencias que presenta la plaza de mercado Corabastos han afectado considerablemente la economía de los comerciantes, quienes se han visto perjudicados por cobros injustificados y la falta de prestación del servicio adecuado. La bodega 82, con 500 locales activos y su oferta comercial, representa una elevada demanda de consumo de energía, según se detalla en el anexo 3 de Corabastos. Sin embargo, actualmente esta bodega no dispone de una infraestructura eléctrica adecuada que permita medir el consumo de energía de manera justa, lo que expone el proceso productivo de los comerciantes a posibles fallas en la prestación del servicio.

Para abordar estas dos fallas en Corabastos de Bogotá, se investigó en el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos a través de la Biomasa, y la producción de energía eléctrica mediante energía solar fotovoltaica, para plantear una solución con un sistema híbrido de generación eléctrica con estas dos fuentes. La simulación de un sistema híbrido compuesto por biomasa y energía solar fotovoltaica permitirá conocer la cantidad aproximada de residuos sólidos orgánicos que pueden ser aprovechados y que adicionalmente permitirán un ahorro en la factura energética de los comerciantes. Igualmente, incentiva a la transición energética del país, si bien estamos a puertas de que sea un hecho mundial, en Colombia es necesaria la diversificación de la matriz energética, y es por esto por lo que el estudio e implementación de proyectos sostenibles fortalece el proceso e incentiva la participación ciudadana.

4. Marco de referencia

4.1. Marco Teórico

Residuos Sólidos orgánicos

Un residuo sólido orgánico (RSO) es cualquier material de origen biológico que es degradado por procesos naturales, como la acción de microorganismos, hongos y otros descomponedores. Los RSO se encuentran comúnmente en la basura doméstica, la industria alimentaria, la agricultura y la ganadería. (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. 2018)

Los RSO se originan a partir de restos de materiales biodegradables, como alimentos, hojas, ramas, restos de animales, entre otros. Estos materiales tienen la capacidad de descomponerse mediante procesos biológicos, lo que los convierte en una fuente de nutrientes para el suelo y las plantas.

En Colombia, la gestión de residuos sólidos orgánicos es un tema importante debido a la cantidad de residuos que se generan a diario. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en Colombia se generan alrededor de 34 millones de toneladas de residuos sólidos al año, de las cuales el 65% son residuos orgánicos.

Tipos de residuos sólidos orgánicos

Existen diferentes tipos de residuos sólidos orgánicos, los cuales se clasifican según su origen y composición (González, A. A, 2014).

1. **Residuos orgánicos de origen animal:** son aquellos que se generan a partir de restos de animales, como huesos, vísceras, plumas, entre otros.
2. **Residuos orgánicos de origen vegetal:** se generan a partir de restos de plantas, como hojas, ramas, tallos, entre otros.
3. **Residuos orgánicos de origen alimentario:** son aquellos que se generan a partir de restos de alimentos, como frutas, verduras, carnes, pescados, entre otros.
4. **Residuos orgánicos de jardinería:** se generan a partir de restos de jardines y parques, como hojas, ramas, césped, entre otros.
5. **Residuos orgánicos de origen industrial:** se generan a partir de procesos industriales, como la producción de alimentos y bebidas.

Usos de los residuos sólidos orgánicos

Compostaje: El compostaje es un proceso en el que los desechos orgánicos se descomponen y se convierten en abono o compost. Este compost se puede utilizar como fertilizante en la agricultura y la jardinería. En Colombia, varias ciudades como Bogotá y Medellín han implementado programas de compostaje comunitario y municipal para gestionar los residuos orgánicos y obtener abono de calidad. (González, A. A, 2014)

Producción de biogás: Los desechos orgánicos también se pueden utilizar para producir biogás mediante un proceso llamado digestión anaerobia. Este biogás se puede utilizar para la generación de energía eléctrica y térmica. En Colombia, existen varias iniciativas de producción de biogás a partir de residuos orgánicos, como la planta de biogás en Llano grande, Antioquia. (González, A. A, 2014)

Biodigestión

La biodigestión cumple tres necesidades básicas la mejora de las condiciones sanitarias debido a al control de la contaminación, también se genera el (bioabono) como un biofertilizante para los cultivos. En ese orden de ideas la biotecnología anaeróbica juega un papel importante en el control de la contaminación y la obtención de recursos tales como: “energía y productos con valor agregado” (Manual de Biogás, 2011)

El manejo adecuado de los residuos se deriva al correcto reciclaje, lo que puede llevar a un proceso de transformación obteniendo así un valor agregado. Dentro de los procesos de transformación encontramos la digestión aeróbica y la digestión anaeróbica.

La digestión aeróbica la definen como los "procesos realizados por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular" (Manual de Biogás, 2011), en otras palabras, este proceso permite la oxidación directa de la materia biodegradable y la autooxidación de la materia celular. La ventaja de este proceso es que es de practica realización, no genera olores, pero también por su alto consumo de energía produce altos costos.

La digestión anaeróbica es un proceso “complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos” (Manual de Biogás, 2011) estos elementos son un conjunto de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas

por el oxígeno, el proceso para que la digestión anaeróbica se transforme en biogás es mediante los microorganismos metanogénicos.

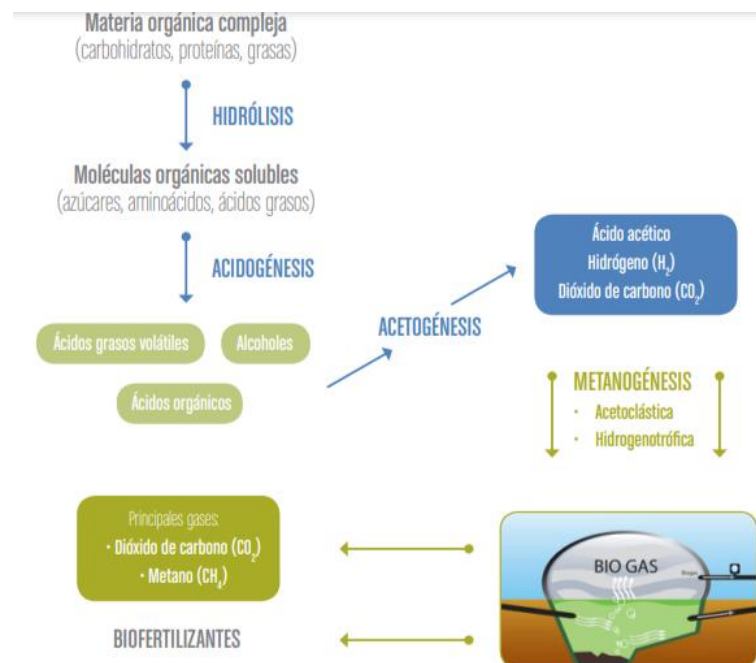
El biogás es metano y dióxido de carbono y este depende del material digerido y del funcionamiento que tiene el proceso.

Digestión Anaeróbica

La digestión anaeróbica es un procedimiento donde la materia orgánica en ausencia de oxígeno al descomponerse produce biogás, que es la mezcla de productos minerales que tienen un proceso difícil de degradación. Es importante tener en cuenta que los residuos deben ser líquidos y que contengan material fermentable. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE, 2007). Los microorganismos descomponen material orgánico en ausencia de oxígeno, el proceso varía dependiendo de las condiciones tales como pH, temperatura, nutrientes, entre otros.

A continuación, las etapas de la digestión Anaeróbica:

Figura 2. Etapas de la digestión anaeróbica en un biodigestor, con producción de biogás y biofertilizante



Fuente: Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO),

Etapa Hidrolítica

La hidrólisis es el primer paso para la degradación de la materia orgánica gracias a bacterias hidrolíticas anaerobia que hidrolizan cadenas de moléculas solubles en agua y de fácil degradación como los azúcares, grasa, carbohidratos y proteínas transformadas en monómeros y en compuestos simples solubles. (García, 2023)

Etapa Acetogénica

Los compuestos intermediarios que son (alcoholes, ácidos grasos, y compuestos aromáticos) son transformados a través de las bacterias acetogénicas en acetato (CH_3COO^-) e hidrogeno (H_2). Una especie de microorganismos acetogénicos cuyo nombre es homoacetogénicos, crecen en presencia de azúcares o compuestos mono carbonos (H_2/CO_2) produciendo el acetato. A diferencia de las bacterias acetogénicos no producen el hidrogeno, sino que lo consumen como fuente de sustrato

Etapa Metanogénica

Es la etapa final del proceso, resultado de las anteriores, los microorganismos de esta etapa son los más importantes dentro de los microorganismos de la digestión anaeróbica porque es la formación del metano y dióxido de carbono. Las bacterias de este proceso hacen parte del dominio Archaea, este grupo es el único capaz de obtener energía con compuestos de bajo peso molecular.

La metanogénesis se da a partir de dos procesos importantes, la reducción de CO_2 , y de moléculas orgánicas.

Biodigestor

Un biodigestor es un sistema sellado que se aprovecha de la digestión anaeróbica para transformar este en biogás. Los biodigestores se adaptan según las necesidades y de los objetivos que se tengan, ya que existen diferentes tipos de tecnologías que se acomodan según los recursos que se dispongan.

Figura 3. **Partes del biodigestor.**

Fuente: (Vidal, 2023).

El biodigestor se compone de un reactor, contenedor de gas, carga de materia prima orgánica y descarga de materias orgánica estabilizada. Se diferencian por la modalidad de carga y el contenido de materia orgánica.

Partes del Biodigestor

Cámara de carga: La materia orgánica se coloca en la cámara de carga y se alimenta en el reactor (Fundación Aquae. (2023). Biodigestor)

Reactor: Dispositivo donde ocurre el proceso de degradación de la materia orgánica, es decir, el proceso bioquímico. (Fundación Aquae. (2023). Biodigestor)

Cámara de descarga: los desechos se descomponen y se mueven a través de la cámara de descarga, que está situada a menor altura que la cámara de carga. (Fundación Aquae. (2023). Biodigestor)

Cubierta de plástico: La cubierta de plástico se sitúa encima del reactor con dos objetivos principales: prevenir la entrada de aire al interior del biodigestor y evitar la fuga del gas producido durante el proceso de descomposición. (Fundación Aquae. (2023). Biodigestor)

Tubería: La tubería conduce el gas producido durante la descomposición en el reactor, y está equipada con una válvula de seguridad para evitar que la presión en el interior de la cubierta plástica supere los niveles seguros. Además, este dispositivo también se

encarga de expulsar el agua que se condensa en la tubería. (Fundación Aquae. (2023). Biodigestor)

Llave de paso: La llave de paso es responsable de regular la salida del gas producido en el biodigestor. Permite controlar el flujo de gas que sale del sistema. (Fundación Aquae. (2023). Biodigestor)

Tipos de Digestores

Los biodigestores se clasifican de acuerdo con dos parámetros:

- Régimen de carga
- Dirección del flujo en el interior del reactor

Por régimen de carga:

Biodigestores de flujo continuo: En estos biodigestores, los materiales orgánicos se introducen constantemente en el sistema y se extraen continuamente los desechos no digeridos y el biogás producido. Los biodigestores de flujo continuo son muy adecuados para el tratamiento de residuos líquidos o semilíquidos, como los residuos de la industria alimentaria o el estiércol líquido. Aldás, J. (2011)

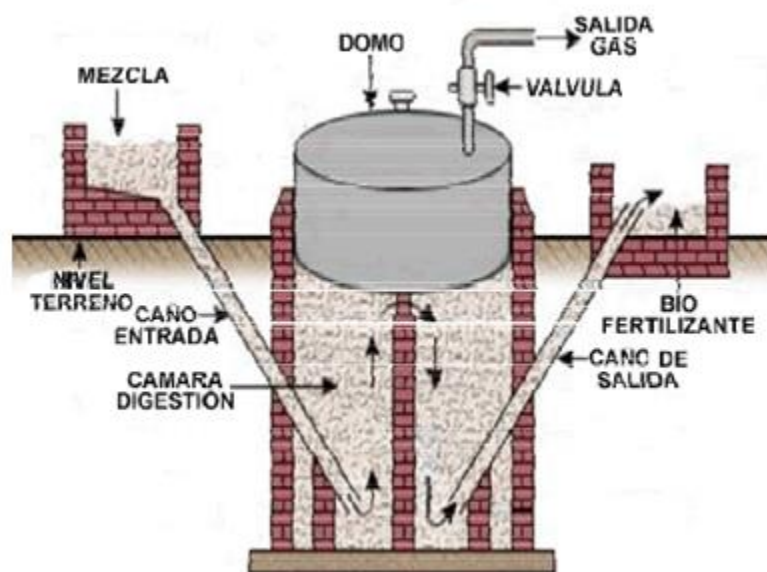
Biodigestores de flujo discontinuo: En estos biodigestores, los materiales orgánicos se introducen en el sistema en lotes y se extraen los desechos no digeridos y el biogás producido después de que se haya completado el proceso de digestión. Los biodigestores de flujo discontinuo son adecuados para el tratamiento de residuos sólidos o semisólidos, como los residuos de la agricultura o los residuos de la industria alimentaria. Aldás, J. (2011)

Plantas de tambor flotante (Tipo Hindú).

Las plantas de tambor flotante, también conocidas como tipo hindú, constan de un digestor subterráneo y un recipiente móvil para gas. El recipiente para gas flota en la mezcla de fermentación o en una chaqueta de agua, y el gas se recolecta en el tambor de gas, que se levanta o baja según la cantidad de gas almacenado. Las ventajas de estas plantas incluyen una operación simple y fácil de entender, ya que el volumen almacenado de gas es visible directamente y la presión del gas es constante y

determinada por el peso del recipiente de gas. La construcción también es relativamente fácil, y los errores de construcción no suelen causar problemas importantes en la operación y producción de gas. Sin embargo, las principales desventajas son los altos costos de los materiales para el tambor de acero, la susceptibilidad a la corrosión de las partes de acero, lo que reduce la vida útil de la planta, y los costos fijos de mantenimiento, como la pintura del tambor.

Figura 4. **Biodigestor Tipo Hindú**

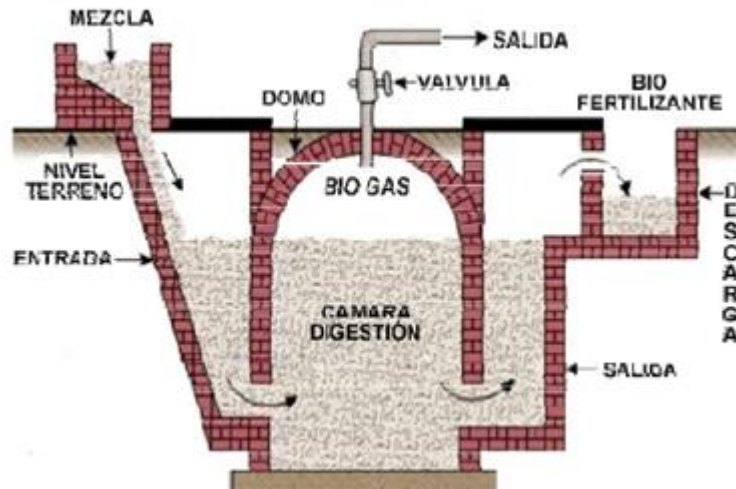


Fuente: (Gutiérrez-Correa, M., Pérez-Vázquez, A., & González-Barrios, J. A (2009))

Plantas de Domo Fijo.

Las plantas de domo fijo son una estructura fija y estacionaria que se utiliza para almacenar gas y se coloca encima del digestor. Cuando se produce gas, éste se desplaza hacia el tanque de compensación, lo que aumenta la presión y el volumen del gas almacenado. Las ventajas de estas plantas incluyen costos de construcción relativamente bajos, larga vida útil, ahorro de espacio debido a su construcción subterránea, protección del digestor contra cambios de temperatura y creación de empleo. Sin embargo, las principales desventajas son los problemas frecuentes con la permeabilidad de gases del recipiente de ladrillos, lo que puede provocar pérdidas significativas de biogás en caso de una pequeña fractura en el recipiente superior.

Figura 5. **Biodigestor Domo Fijo**

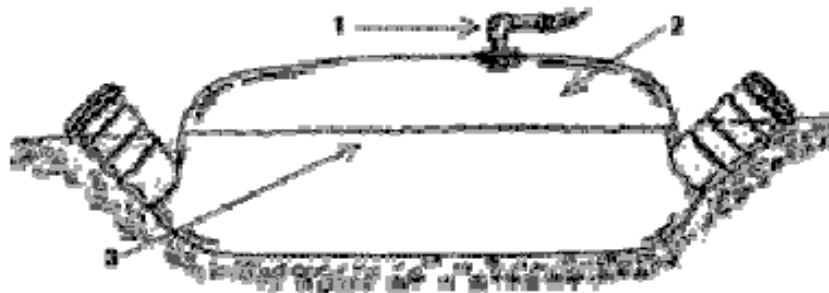


Fuente: (Gutiérrez-Correa, M., Pérez-Vázquez, A., & González-Barrios, J. A (2009))

Por lo tanto, las plantas de domo fijo solo se recomiendan cuando pueden ser supervisadas por técnicos experimentados en biogás debido a que la presión del gas puede fluctuar significativamente en función del volumen del gas almacenado. Es importante tener en cuenta que los problemas de permeabilidad del recipiente de ladrillos para el gas también pueden ser un desafío, lo que enfatiza aún más la necesidad de contar con técnicos capacitados para manejar estos problemas.

Por dirección de flujo en el interior del reactor

Plantas de globo: En este tipo de biodigestor, el gas producido se almacena en la parte superior de un digestor de bolsa, en el cual la entrada y salida se encuentran en la misma superficie. Entre las ventajas de este tipo de biodigestor se encuentran su bajo costo, facilidad de transporte, construcción poco sofisticada, altas temperaturas de digestión, fácil limpieza, mantenimiento y vaciado. No obstante, las desventajas incluyen un corto tiempo de vida, alta susceptibilidad a daños, baja generación de empleo y, por lo tanto, un potencial limitado para la autosuficiencia. (Gutiérrez-Correa, M., Pérez-Vázquez, A., & González-Barrios, J. A., (2009))

Figura 6. **Biodigestor de globo**

- 1.- Válvula de salida
- 2.-Almacenamiento de biogás
- 3.-Nivel de agua con materia orgánica

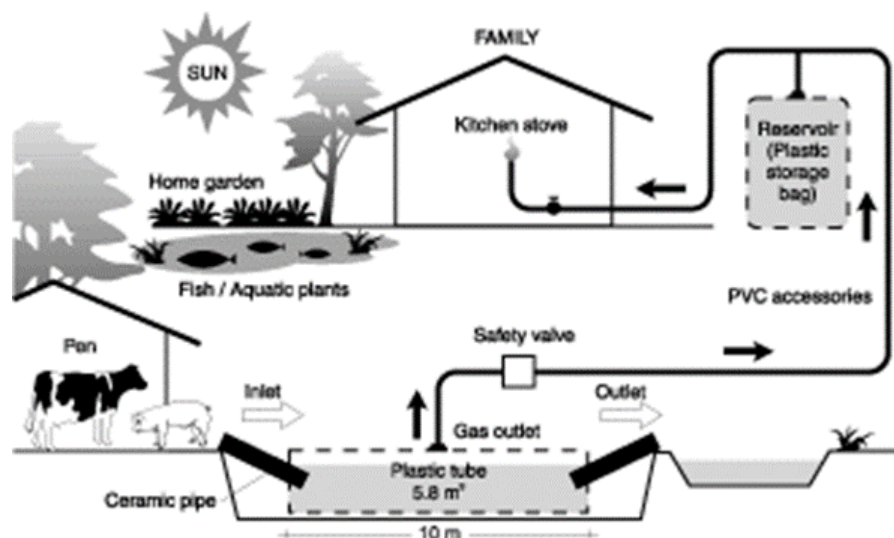
Fuente: (Gutiérrez-Correa, M., Pérez-Vázquez, A., & González-Barrios, J. A (2009))

El biodigestor de globo dura hasta 20 años, aunque si surge alguna ruptura, puede repararse con el mismo material del biodigestor usando un adhesivo fuerte. Es importante que la parte reparada permanezca seca hasta que se endurezca por completo. Para utilizar el metano producido, es suficiente con ejercer una pequeña presión sobre la bolsa de almacenamiento, lo que permite mover el biogás hacia donde se necesita.

Biodigestor de plástico de bajo costo

El biodigestor de plástico de bajo costo presenta varias ventajas, como su bajo precio y facilidad de transporte debido a su ligereza, especialmente en lugares de difícil acceso. Además, al ser hermético, se reducen las pérdidas de biogás. Sin embargo, este tipo de instalación tiene algunas desventajas. Por ejemplo, su tiempo de vida útil es bajo, por lo que es necesario montar una nueva instalación cada tres años. También es vulnerable a sufrir roturas debido a condiciones climáticas adversas, actividades humanas y acciones de animales. A pesar de estas desventajas, los biodigestores de plástico de bajo costo siguen siendo una opción atractiva para la producción de biogás.

Figura 7. Biodigestor de plástico de bajo costo



Fuente: (Gutiérrez-Correa, M., Pérez-Vázquez, A., & González-Barrios, J. A (2009))

Biogás

El biogás es un tipo de combustible que se compone mayoritariamente de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), y su proporción puede variar dependiendo del residuo utilizado para alimentar el biodigestor. Este combustible se obtiene mediante un proceso de digestión anaerobia que libera la energía química de la materia orgánica. El biogás puede reemplazar cualquier combustible líquido o gaseoso en dispositivos, como cocinas, calefones, generadores, entre otros. Aunque su poder calorífico es menor que el del Gas Envasado y el Gas Natural, se considera una fuente de energía renovable, ya que se produce a partir de materia orgánica. Para generar la misma cantidad de calor que otros combustibles, se necesita una mayor cantidad de biogás. Por ejemplo, alrededor de 1 metro cúbico (1.000 litros) de biogás es equivalente a $\frac{1}{2}$ kilo de Gas Envasado.

El biogás se produce a partir de materia orgánica animal o vegetal, y se considera una fuente de energía renovable, ya que esta materia orgánica es un recurso natural que se puede regenerar. (Gobierno de la Provincia de Santa Fe, 2019).

Sustrato para la alimentación del Biodigestor

Recomendados

Se puede utilizar materia orgánica animal o vegetal como fuente de alimento o sustrato para realizar la biodigestión. Es importante evitar el uso de residuos no orgánicos como alimento para el proceso de biodigestión y también el uso de residuos orgánicos contaminados.

A continuación, en la siguiente figura se mostrarán los alimentos recomendados y aquellos que deben evitarse para el proceso de biodigestión.

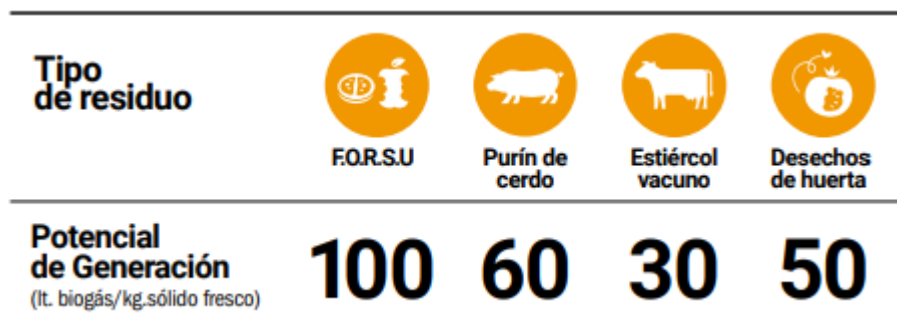
Figura 8. Sustratos para la generación de Biogás



Fuente: Gobierno de la Provincia de Santa Fe. (2019). Manual de uso de biodigestores 1000l.

Teniendo en cuenta la figura x anterior en la siguiente figura se demuestra el potencial de generación por tipo de residuo

Figura 9. **Potencial de generación por tipo de residuo**



Fuente: Gobierno de la Provincia de Santa Fe. (2019). Manual de uso de biodigestores 1000l.

Con el siguiente ejemplo podemos explicar la anterior figura

- Si alimentamos a nuestro digestor con 3 kilos de F.O.R.S.U por día, obtendremos 300 litros de biogás diarios. Por lo tanto, si lo hacemos con 30 kilos, serían 3.000 litros (o 3m³) de biogás los obtenidos, que equivalen a 1.5 kg de gas envasado.

Y si lo hacemos con desechos con huerta daría esto.

- Si alimentáramos nuestro digestor con 15 kg de desechos de huerta por día, obtendríamos aproximadamente 1.200 litros (o 1,2 m³) de biogás diarios.

Biomasa

El siguiente Marco teórico sobre La Biomasa se basó en el libro “La biomasa: Importancia, tipos y características y formas de preparación” del autor Santiago Vignote Peña.

En términos energéticos, la biomasa se refiere a un tipo de combustible obtenido a partir de productos y desechos naturales, tales como los generados por la agricultura (ya sean de origen animal o vegetal), la actividad forestal y las industrias relacionadas con el bosque, así como la parte biodegradable de los residuos industriales y urbanos. Peña, S. (2016)

El uso de la Biomasa se considera una forma de energía limpia debido a su capacidad para ayudar en la lucha contra el cambio climático, su impacto ambiental relativamente bajo y su contribución al fomento de la competitividad, el empleo y el desarrollo regional.

En particular, el uso de la Biomasa ofrece las siguientes ventajas: Peña, S. (2016)

- La Biomasa tiene un balance de emisión de CO₂ neutro.
- La Biomasa no emite contaminantes sulfurados o nitrogenados, ni genera una cantidad significativa de partículas sólidas.
- La producción de Biomasa es altamente descentralizada y se basa en recursos disponibles en todo el territorio, lo que puede tener un gran impacto social y económico en las zonas rurales.
- El uso de la Biomasa reduce la dependencia de los combustibles importados. Además, la tecnología para su aprovechamiento se ha desarrollado ampliamente para muchas aplicaciones.
- El uso de la Biomasa ayuda a reducir el riesgo de incendios y plagas forestales al reducir la cantidad de combustible en las masas forestales en España.
- El uso de la Biomasa también ayuda a disminuir la cantidad de residuos y los riesgos ambientales asociados a su eliminación, al valorizar los residuos de origen industrial.

Tipos de Biomasa

Biomasa Forestal: La biomasa forestal se refiere a la materia orgánica obtenida de los bosques, la cual ha sido utilizada como fuente de energía desde que los seres humanos empezaron a quemar madera para cocinar y calentarse. Aunque la madera sigue siendo el recurso de biomasa más utilizado en la actualidad, existen otros materiales orgánicos que también se incluyen en esta categoría

Biomasa de residuos de industrias forestales: La biomasa de residuos de industrias forestales se refiere a la materia orgánica obtenida a partir de los residuos generados por la industria forestal. Estos residuos pueden incluir cortezas, costeros, puntas, recortes y serrín procedentes de la industria del aserrado; cortezas, curros, recortes de tableros y polvos de lijado en la industria de tableros; cortezas, lejías negras e incocidos en la industria de pasta papelera; y virutas, recortes y polvos de lijado en la industria de carpintería y mueble.

Biomasa agrícola: La biomasa agrícola se refiere a la materia orgánica obtenida a partir de los residuos generados por la producción agrícola.

Biomasa de residuos de industrias agrícolas: La biomasa de residuos de industrias agrícolas se refiere principalmente a los residuos generados por la industria del aceite de oliva, como el orujillo, y los residuos de frutos secos, como la cáscara de almendra, nuez, avellana, entre otros. El orujillo tiene una forma granulada con un tamaño de alrededor de 1 o 2 cm y una calidad de combustión aceptable, sin producir cenizas o componentes excesivos. Las cáscaras de los frutos secos son cóncava y tamaño de varios cm, y pueden astillarse o triturarse para convertirlas en pellets y venderse en formas más fáciles de usar en combustiones automáticas.

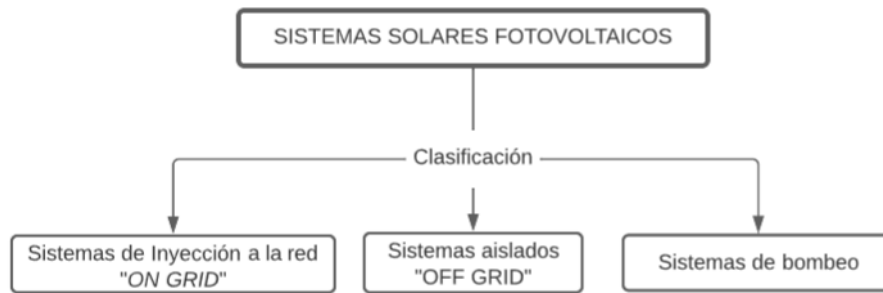
Componente Energía Solar Fotovoltaica

Considerando el componente de energía solar fotovoltaica del sistema de generación híbrido, es importante definir y conocer los conceptos claves de esta área, siendo así, la energía solar es un recurso natural y renovable disponible en gran parte del planeta. Por captación de radiación solar y transformación en energía eléctrica, es posible tenerla disponible para el uso y/o consumo humano, satisfaciendo necesidades básicas como iluminación, transporte, calefacción de agua y hogares, entre otros.

Para la explicación de la transformación de la energía y los tipos de sistemas solares fotovoltaicos nos apoyaremos en la información que proporciona *Perpiñán O*, en su libro *Energía solar fotovoltaica*: “Se da cuando los módulos fotovoltaicos (paneles solares), captan los electrones de los fotones presentes en la radiación solar, y por medio de sus células de silicio crean un campo magnético que se transforma en energía eléctrica de corriente continua” (Perpiñán, O., 2023).

Para lograr el aprovechamiento de la energía solar existen tres tipos de sistemas fotovoltaicos que proporcionan este servicio, el siguiente diagrama los clasifica:

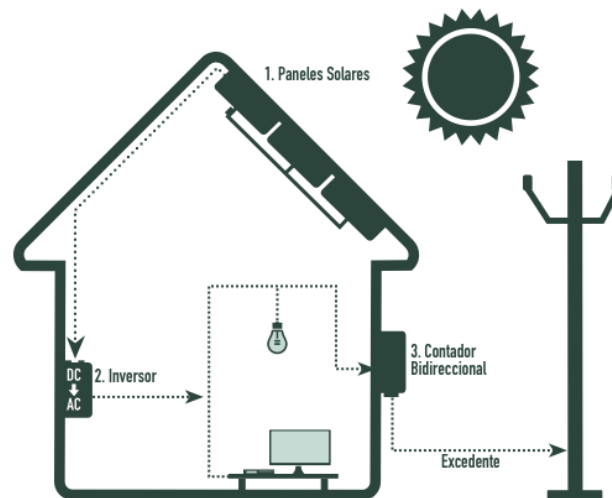
Figura 10. **Clasificación de los sistemas solares fotovoltaicos.**



Fuente: Elaboración propia.

Sistemas de inyección a la red: “On grid”: Aquellos que son capaces de generar la energía eléctrica demandada por el usuario, y el porcentaje producido como excedente, es suministrado a la red para ser transportado y aprovechado por otros usuarios que se encuentren conectados, y en caso contrario, en el que el sistema fotovoltaico no cumpla con la demanda del usuario, la red proporcionará el suministro sin que se presenten daños en el sistema. (Perpiñán, O., 2023).

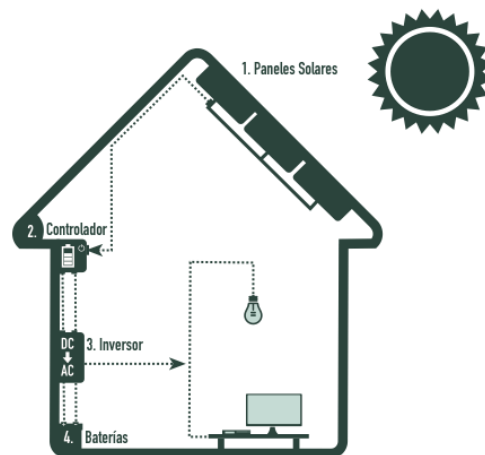
Figura 11. **Esquema de sistema fotovoltaico on-grid.**



Fuente: (Instalación sistemas de energía solar - América Fotovoltaica, 2023)

Sistemas aislados: “Off grid”: Aquellos que tienen una capacidad máxima de generación definida, es decir, están diseñados para cubrir una necesidad específica de consumo, no van conectados a la red y son completamente independientes. Suelen ser usados para generación de menos de 5kW, pero cada uno tiene una función y limitación distinta (Perpiñán, O., 2023).

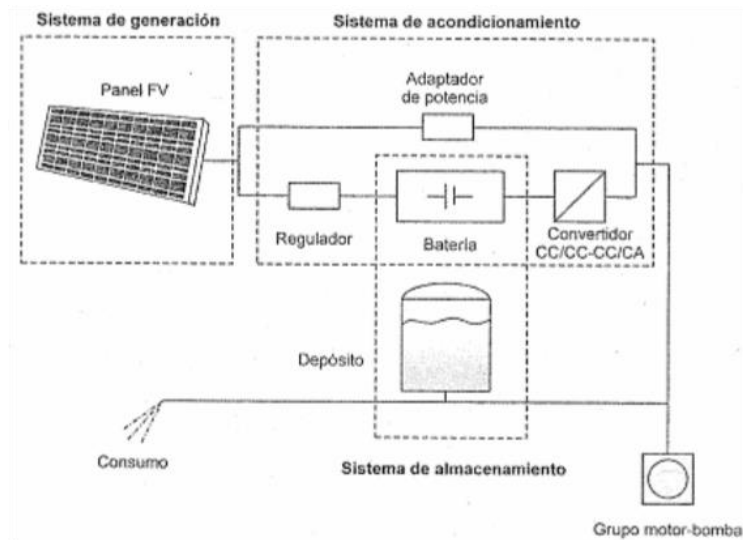
Figura 12. **Esquema de sistema fotovoltaico off-grid**



Fuente: (*Instalación sistemas de energía solar - América Fotovoltaica, 2023*)

Sistemas de bombeo: Los sistemas fotovoltaicos de bombeo son los que alimentan con energía eléctrica a una bomba para extraer, almacenar o transportar agua de un punto a otro. En estos sistemas resaltan dos características; la primera, las curvas de generación y de consumo están bien adaptadas: las épocas de mayor radiación solar y consiguiente productividad eléctrica son a la vez las de mayor consumo de agua; la segunda, no es necesario el uso de acumuladores electroquímicos para almacenar energía y dotar de autonomía al sistema: un depósito elevado de agua almacena energía potencial de forma más barata, segura, eficiente y fiable (Perpiñán, O., 2023).

Figura 13. **Esquema de sistema fotovoltaico de bombeo.**



Fuente: (González, 2010)

Estos tres sistemas se componen principalmente de estos elementos, de los que las características y especificaciones varían con respecto a la capacidad de generación del sistema, como los módulos fotovoltaicos, las baterías y los inversores híbridos o cargadores (Perpiñán, O., 2023).

Energía Solar Fotovoltaica en Colombia

Según el *Reporte integral de sostenibilidad, operación y mercado 2021 de XM*, la generación de energía eléctrica del Sistema Interconectado Nacional-SIN- durante el año 2021 se situó en 73,933.55 GWh-año, presentando un aumento del 6.6% respecto al año 2020 (69,323.56 GWh-año). Específicamente, en cuanto a las fuentes renovables, la energía solar ocupa un porcentaje bajo, al año 2021 tan solo del 0.44%, con un aumento respecto al año 2020. (XM, 2022).

Es importante tener en cuenta el proceso de la transición energética por el cual está atravesando Colombia en este momento, y apoyar la implementación de proyectos de energías renovables para maximizar la diversificación de la matriz de generación eléctrica, ya que actualmente, a nivel general este porcentaje es bajo, tal como lo describe la siguiente tabla que hace parte del *Reporte integral de sostenibilidad, operación y mercado 2021* (XM, 2022):

Figura 14. **Porcentaje de generación de energía eléctrica en Colombia con fuentes renovables y no renovables entre el año 2020 y 2021.**

| Fuente de energía | 2020 GWh | Participación (%) | 2021 GWh | Participación (%) | Variación 2021 vs. 2020 |
|----------------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|
| Fuentes de energía No Renovable | | | | | |
| Térmica | 18.560.9 | 26.8% | 12.261.5 | 16.6% | -33.9% |
| ACPM | 13.47 | 0.0% | 11.82 | 0.0% | -12.2% |
| Biogás | 1.35 | 0.0% | 4.53 | 0.0% | 236.4% |
| Carbón | 8.565.51 | 12.4% | 4.019.65 | 5.4% | -53.1% |
| Combustóleo | 17.59 | 0.0% | 15.32 | 0.0% | -12.9% |
| Gas | 9.962.94 | 14.4% | 8.210.14 | 11.1% | -17.6% |
| Total No Renovable | 18.560.9 | 26.8% | 12.261.5 | 16.6% | -33.9% |
| Fuentes de energía Renovable | | | | | |
| Biomasa | 724.4 | 1.0% | 792.6 | 1.07% | 9.4% |
| Eólica | 10.1 | 0.0% | 60.5 | 0.08% | 497.7% |
| Hidráulica | 49.837.4 | 71.9% | 60.496.0 | 81.82% | 21.4% |
| Solar | 190.8 | 0.28% | 323.0 | 0.44% | 69.3% |
| Total Renovable | 50.762.7 | 73.2% | 61.672.1 | 83.4% | 21.5% |
| Total general | 69.323.6 | 100.0% | 73.933.5 | 100.0% | 6.6% |

Fuente: (XM, 2022)

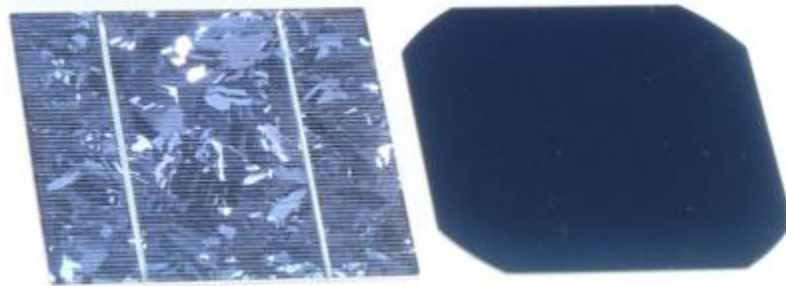
Paneles Solares Fotovoltaicos

Los paneles solares son elementos que, mediante rayos solares, producen energía eléctrica y/o térmica. Tienen celdas de silicio, conocidas como células fotovoltaicas que aprovechan la radiación solar para convertirla en electricidad mediante el efecto fotovoltaico, que separa las cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de distinto tipo, generando un campo eléctrico que producirá corriente eléctrica. (Autosolar, 2023).

El silicio es el material más usado en la construcción de las células fotovoltaicas de los paneles solares, y dichas células se dividen en dos grupos:

- **Monocristalinas:** Proporcionan un mayor rendimiento ya que las células están construidas por un solo cristal, generalmente de azul uniforme, y así mismo su costo de fabricación es más alto. (Energy education, 2023).
- **Policristalinas:** Proporcionan un rendimiento menor, pero no ineficiente, pues están constituidas por varios cristales y por esta razón posee un color azul no uniforme. Su costo de fabricación es un poco más bajo. (Energy education, 2023).

Figura 15. **Figura a la izquierda, célula de policristalino y figura a la derecha, célula de monocristalino**



Fuente: (Energy education, 2023).

Partes del panel solar fotovoltaico

El panel solar fotovoltaico cuenta con 6 partes en su composición, las cuales son:

- **Marco:** Hecho en aluminio, protege las partes internas del panel y proporciona los puntos de fijación para el montaje los módulos. (Ineldec, 2020).
- **Vidrio Templado:** Protege las celdas de agentes externos que las puedan afectar como el agua y la suciedad, así como también las protegen en su instalación y durante su funcionamiento, permitiendo un mejor aprovechamiento de la luz. (Ineldec, 2020).
- **Encapsulante EVA (Ethylene Vinyl Acetate):** Es un material que tiene buena transmisión de radiación. Actúa como agente encapsulante, creando una película sellante y aislante alrededor de las células. Así, evita la entrada de aire y la formación de humedad, deja pasar la energía del sol y es resistente a la degradación de la luz solar con el tiempo. (Ineldec, 2020).
- **Celdas fotovoltaicas:** Transforman los rayos solares en energía eléctrica. (Ineldec, 2020).
- **Cubierta posterior (Tedlar):** Es la última capa del módulo fotovoltaico, protege el panel funcionando como aislamiento eléctrico del sistema. Generalmente está hecha de un polímero o la combinación de polímeros, de los cuales pueden ser fluoro polímeros simples o dobles. (Ineldec, 2020).
- **Caja de conexión:** Esta caja es el punto central donde todos los conjuntos de celdas se interconectan. (Ineldec, 2020).

Figura 16. Estructura de un panel solar fotovoltaico



Fuente: (Aprean, 2023).

En Colombia hay diferentes marcas de módulos fotovoltaicos, se importan mucho de otros países y este factor influye en el precio de cada módulo, ya que los precios en dólares, por eso no se mantiene un precio fijo, por lo que es usual encontrar una variación diaria. En el mercado los precios se fijan con respecto al vatio. En el grupo de los fabricantes, algunos resaltan debido a los estándares de calidad, entre ellos están Yingli solar, Longi solar, Jinko solar y Trina solar.

Irradiancia

La irradiancia se define como la cantidad de energía electromagnética que incide sobre una superficie por unidad de tiempo y unidad de área. La unidad de medida de la irradiancia en el Sistema Internacional de Unidades (SI) es el vatio por metro cuadrado (W/m^2) (A Laguarda, 2021)

La irradiancia se puede dividir en dos componentes principales: la irradiancia directa y la irradiancia difusa. La irradiancia directa es la energía que llega a la superficie de manera directa desde la fuente de radiación, como el sol o una lámpara. La irradiancia difusa es la energía que llega a la superficie después de haber sido dispersada en la atmósfera o en otros elementos del entorno.

La irradiancia es importante en diversas áreas, como la energía solar fotovoltaica, la agricultura, la meteorología y la iluminación. En cada área, la irradiancia calcula la

cantidad de energía disponible, la cantidad de luz necesaria para el crecimiento de las plantas, el pronóstico del tiempo y la calidad de la iluminación.

Solargis

Solargis es una plataforma por medio de la cual se accede a información detallada de cada país del mundo sobre sus características para el desarrollo de proyectos de energía solar fotovoltaica y energía eólica, información que se recopila vía satélite, lo cual representa una mayor precisión en los datos. (Solargis, 2023).

Para acceder a la información de determinada ubicación, Solargis cuenta con dos mapas, el específico para el aprovechamiento de la energía solar es *Global Solar Atlas* donde el usuario indica el nombre del punto geográfico del cual requiere información y por medio de los datos recopilados por los satélites, existe la opción de descargar un informe actualizado con los datos meteorológicos necesarios para hacer la simulación de proyectos de energía solar fotovoltaica.

Simulador PVsyst

El software PVsyst es un simulador de sistemas fotovoltaicos con el cual se realiza un análisis de datos y de la viabilidad de los proyectos, teniendo en cuenta factores como climáticos, ubicación geográfica e inversión monetaria ya que en su sistema registran los costes reales y actuales de diferentes fabricantes de módulos fotovoltaicos, inversores, controladores y baterías. Allí se pueden simular cualquiera de los tres tipos de sistemas, bien sea conectados a la red, aislados o de bombeo, así como también se pueden realizar diseños en 3D de cada proyecto (PVsyst, 2023).

Simulador BiogasWorld

BiogasWorld es un simulador *online* de plantas de producción de biogás que permite tener un estimado de generación a partir de diversas fuentes de biomasa. Este simulador tiene la opción de ingresar hasta 3 variables de materias primas en cifras de Toneladas/año, así como también definir el si el tipo de planta es industrial o doméstica, el uso del biogás y producción y uso del biodigestato.

4.2. Marco Legal

Es de suma importancia para cualquier investigador conocer el marco legal en el que se desarrolla su proyecto. En el caso de la simulación de un sistema híbrido (biomasa/solar) para la producción de energía eléctrica en Corabastos de Bogotá, es indispensable tener conocimiento de las normativas y regulaciones que rigen la producción y distribución de energía eléctrica en Colombia. De esta forma, se pueden identificar las posibles restricciones y limitaciones que puedan afectar a la implementación del sistema, así como las oportunidades y beneficios que puedan ser aprovechados. Asimismo, conocer el marco legal permitirá asegurar el cumplimiento de las normas y requisitos necesarios para el desarrollo del proyecto, lo que garantizará su viabilidad y sostenibilidad en el tiempo. En resumen, tener un conocimiento profundo del marco legal es fundamental para llevar a cabo cualquier proyecto de investigación de manera efectiva y responsable.

Tabla 1. Normatividad Colombiana

| Normatividad | |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ley 1715 de 2014 | El principal objetivo de la ley de transición energética promover el desarrollo e implementación de proyectos que tengan como fuente las energías no convencionales, estimulando la inversión en el sector, ofreciendo una alta eficiencia energética en la respuesta a la demanda del sector, la utilización en el mercado de las fuentes no convencionales de la energía, el apoyo a las zonas no interconectadas, ofreciendo servicios públicos de calidad, reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero. |
| Decreto 348 de 2018 | Este decreto regula la conexión de sistemas de generación distribuida de energía eléctrica, como los sistemas solares fotovoltaicos, a la red eléctrica nacional. |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Resolución CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) 030 de 2018 | <p>Esta resolución establece las condiciones técnicas y comerciales para la conexión de sistemas de generación distribuida de energía eléctrica a la red eléctrica nacional</p> |
| Resolución ANLA (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales) 909 de 2015 | <p>Esta resolución establece las normas y procedimientos para la evaluación ambiental de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de fuentes no convencionales, como la energía solar fotovoltaica.</p> |
| Decreto 1073 de 2015 | <p>Este decreto establece las normas para la gestión integral de residuos sólidos generados en proyectos de generación de energía a partir de fuentes no convencionales, como la energía solar fotovoltaica.</p> |
| Resolución 90708 de 2013 | <p>Esta resolución establece los requisitos técnicos y de calidad que deben cumplir los biocombustibles sólidos derivados de la biomasa, como la leña, el bagazo, la cáscara de arroz y otros residuos agrícolas.</p> |
| Decreto 574 de 2020 | <p>Este decreto regula la producción, comercialización y uso de biocombustibles líquidos en Colombia, incluyendo aquellos producidos a partir de la biomasa.</p> |
| Ley 99 de 1993 | <p>Esta ley establece las bases para la protección del medio ambiente en Colombia y promueve el uso de fuentes de energía renovable y de tecnologías limpias.</p> |
| Resolución 0289 de 2016 | <p>Esta resolución establece los requisitos técnicos para la generación de energía eléctrica a partir de biomasa en Colombia.</p> |
| Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 | <p>En este plan se establecen las políticas y estrategias del gobierno colombiano para promover el desarrollo sostenible del país, incluyendo el uso de fuentes de energía renovable como la biomasa</p> |

| | |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ley 2099 de 2021 | El principal objetivo de la Ley de transición energética es modernizar las leyes vigentes en cuanto a las energías renovables, buscando dinamizar y diversificar el mercado energético por medio de la utilización, promoción, desarrollo, almacenamiento y operación de las fuentes no convencionales de la energía, la reactivación económica de Colombia después de la crisis por la pandemia del Covid-19 y fortalecer el suministro de los servicios públicos de energía eléctrica y los combustibles, en especial el gas natural. |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Fuente: Elaboración propia.

5. Marco institucional

Corporación de Abastos de Bogotá

Corabastos es una plaza de mercado ubicada en el sur de Bogotá, es el mercado más grande de Bogotá y nace por la necesidad de abastecer una ciudad y municipios aledaños, de manera organizada no como se llevaba haciendo en las otras plazas de mercado.

Así que el 6 de marzo de 1970 se constituyó la sociedad denominada Promotora de la Gran Central de Abastos de Bogotá Ltda., encargada de organizar el sistema de mercadeo de alimentos y centralizar y racionalizar su distribución. (Corabastos, 2023)

Se constituye de 420,000 m², 57 bodegas, 6,500 comerciantes y provee a cerca de 10 millones de habitantes de Bogotá, sus ciudades aledañas y demás centrales del país. Tiene transacciones cercanas a los 24 mil millones de pesos diarios, moviliza 12,400 toneladas de alimento y hace de la papa el producto de mayor venta en su mercado con el 26%, seguido de las frutas con el 25% (Romero, 2020).

Figura 17. **Fotografía satelital de Corabastos y la plaza de mercado las flores en la localidad de Kennedy.**



Fuente: (Google Earth) 2023.

Si bien la plaza fue determinante en tener un proceso organizado a la hora de surtir a la población y a los demás comerciantes, ahora gracias a diferentes estudios se ha demostrado que su acumulación de desechos ya genera daños en términos ambientales y de contaminación, “porque los desechos no disponen de una correcta recolección por ineficiencia en los espacios, pues los lugares diseñados para su acopio en cada una de las bodegas, fueron utilizados y ocupados para actividades de comercio, dejando a Corabastos sin zonas disponibles para el acopio temporal de RS (Residuos Sólidos) en su interior y limitaron la logística de recolección y transporte que ocasionaron una serie de inconvenientes relacionados con la presencia de vectores, mal olor y la inadecuada disposición final de residuos sólidos orgánicos”. (Romero, 2020)

En Corabastos, la mayor central de abastos de Bogotá, se producen 46 mil toneladas de residuos, de los cuales 20% pertenecen a frutas (Romero, 2020).

Esto implica que Corabastos tenga consecuencias negativas en su entorno, también los altos volúmenes que Corabastos envía al relleno Sanitario de Doña Juana para acortar su vida útil, las contaminaciones de acuíferos por los lixiviados que se filtran en el subsuelo e impactan el ecosistema vecino, la pérdida de materias primas de la cadena productiva y su consecuente detrimento de beneficios monetarios por ello, y las afectaciones a la comunidad por presencia de vectores, hacen que Corabastos se asocian a impactos negativos. (Romero, 2020)

6. Diseño metodológico

La metodología usada para desarrollar este proyecto fue transversal, cuantitativa y analítica, donde durante tres meses se recopilaron datos teóricos, históricos, meteorológicos y numéricos, relacionados con la producción y funcionamiento de la plaza de mercado Corabastos de Bogotá, y de las fuentes de energía renovables y su aprovechamiento mediante diferentes actividades.

Primero, se recogió información sobre la plaza de mercado Corabastos de Bogotá, donde mediante informes anuales expedidos por la entidad en los años 2020 y 2021 se obtuvieron datos relativos a su producción y gestiones internas de logística, desarrollo y mejoras de infraestructura. Esta información permitió identificar los problemas que debían abordarse y los recursos disponibles para llevar a cabo la investigación. Posteriormente, se determinaron los residuos sólidos orgánicos aptos para el estudio a realizar de generación de energía eléctrica y se clasificaron por medio de una tabla que se extrajo del informe de Corabastos.

Luego se realizó el marco teórico, que consistió en la identificación y análisis de los fundamentos necesarios para la investigación. Este marco teórico permitió darle un hilo conductor al trabajo y aseguró que se abordaran todos los aspectos relevantes del proyecto. Una vez establecido el marco teórico, se determinaron las características de la biomasa y de la energía solar fotovoltaica, que son las dos fuentes de energía que se utilizarían en el proyecto. Esta información permitió garantizar que se utilizarían los recursos adecuados para llevar a cabo la investigación. Finalmente, se inició con la simulación de ambas energías, la biomasa y la energía solar fotovoltaica, lo que permitió evaluar su eficiencia y establecer cuál de ellas sería la más adecuada para el proyecto o en su defecto ambas.

En resumen, el diseño metodológico utilizado en este proyecto se centró en la recopilación de información, la determinación de los recursos necesarios, la realización del marco teórico y la simulación de ambas energías. Estos pasos permitieron llevar a cabo la investigación de manera eficiente y efectiva, asegurando que se abordaran todos los aspectos relevantes del proyecto y se obtuvieran resultados precisos y confiables.

Para el desarrollo metodológico, se plantean actividades por cada objetivo, las cuales son un paso a paso para obtener la información necesaria para determinar la eficiencia en la simulación del sistema híbrido. En la **Tabla 2** las actividades quedan representadas de esta manera:

Tabla 2. Actividades establecidas por cada objetivo.

| OBJETIVO | ACTIVIDADES |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Identificar la cantidad de residuos sólidos orgánicos utilizables para la producción eléctrica por medio de biogás en la plaza de mercado Corabastos en la ciudad de Bogotá. | Identificar los informes confiables de la determinación de generación de residuos sólidos orgánicos en Corabastos. |
| | Extraer una base de datos de los residuos sólidos orgánicos. |
| | Determinar cuáles y cuantos residuos sólidos orgánicos son viables para la producción de biogás. |
| Determinar la producción de biogás a partir de los residuos sólidos orgánicos de Corabastos por medio del simulador <i>Biogas World</i>. | Determinar las características del biodigestor a implementar. |
| | Realizar la simulación de la producción de energía eléctrica del biodigestor. |
| Determinar la viabilidad técnica de la producción de energía solar fotovoltaica a partir de las variables ambientales y las características específicas de los equipos. | Definir ubicación del sistema delimitando el espacio necesario para la instalación tanto de los paneles solares como del resto del sistema. |
| | Recopilar la información meteorológica para la simulación de la producción de energía solar fotovoltaica por medio de Solargis. |
| | Definir qué tipo de paneles solares fotovoltaicos e inversor se van a usar. |
| | Realizar la simulación en el software PVsyst. |
| Determinar la eficiencia en la producción de energía eléctrica del sistema híbrido. | Unificar la producción de energía eléctrica del biodigestor y del sistema solar fotovoltaico. |
| | Precisar la generación de energía eléctrica del sistema en kWh/mes a partir de la simulación de ambos componentes. |

Fuente: Elaboración propia.

7. Diagnóstico organizacional

Teniendo en cuenta el objetivo general de esta investigación, se plantean 3 hipótesis sobre los resultados que se pueden obtener al finalizar el desarrollo metodológico, una hipótesis nula en cuanto a las expectativas iniciales, y dos hipótesis alternas con los dos posibles escenarios que se encuentran a los lados de la hipótesis nula.

Los resultados obtenidos en este desarrollo metodológico serán evaluados por medio de la prueba Shapiro Wilk para determinar si corresponden a valores normales y así evaluar la hipótesis nula.

A continuación, se detallan cada una de ellas:

Hipótesis nula:

La simulación de generación de energía solar fotovoltaica más producción de biogás por medio de biodigestor en Corabastos produce una diferencia no significativa frente al consumo actual igual a 18.5kWh/año.

Hipótesis alterna 1:

La simulación de generación de energía solar fotovoltaica más producción de biogás por medio de biodigestor en Corabastos produce una diferencia significativamente mayor al consumo actual de 18.5kWh/año.

Hipótesis alterna 2:

La simulación de generación de energía solar fotovoltaica más producción de biogás por medio de biodigestor en Corabastos produce una diferencia significativamente menor al consumo actual de 18.5kWh/año.

Tabla 3 Test de Shapiro Wilk

| Xi | (Xi-MED)^ai | ai | XI INV | |
|-----------|--------------------|-----------|---------------|------|
| 1271,6 | 0,49 | 0,7071 | 1273 | -1,4 |
| 1273 | 0,49 | | 1271,6 | |

| | | | |
|--------------|----------|---------|-----------|
| x | 1272,3 | SWc | 0,9999808 |
| (xi - MED)^2 | 0,98 | SWt | 0,767 |
| ai*Dif | -0,98994 | p-value | >0,9 |

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de esta prueba demuestran que los datos de las simulaciones son normales,

7.1. Procesamiento estadístico de datos

A partir de la investigación teórica realizada, se plantearon ciertas actividades por desarrollar cada objetivo específico y así se obtuvieron datos útiles para simular los componentes biomasa y solar del sistema híbrido. A continuación, se detalla los resultados

1. Objetivo: Identificar la cantidad de residuos sólidos orgánicos utilizables para la producción eléctrica por medio de biogás en la plaza de mercado Corabastos en la ciudad de Bogotá.

- Identificar los informes confiables de la determinación de generación de residuos sólidos orgánicos en Corabastos y extraer una base de datos de los residuos sólidos orgánicos.

A continuación, se adjunta la Tabla 4 correspondiente al año 2019, donde se evidencia la generación promedio diario y día pico de residuos por bodega y distribuidos por zona correspondiente.

Tabla 4. Generación diaria aproximada de residuos sólidos orgánicos en las bodegas de Zona 1 y Zona 2 de Corabastos en el año 2019.

| Bodega | Generación promedio (m3/día) | Generación promedio (Ton/día) | Generación día pico (m3/día) | Generación día pico (Ton/día) |
|---------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| ZONA 1 | | | | |
| 1 | 1.21 | 0.38 | 2 | 0.6 |
| 2 | 0.32 | 0.1 | 0.5 | 0.2 |
| 3 | 0.32 | 0.1 | 0.5 | 0.2 |
| 4 | 3.21 | 1.02 | 5.3 | 1.7 |
| 5 | 0.8 | 0.25 | 1.3 | 0.4 |
| 6 | 0.32 | 0.1 | 0.5 | 0.2 |
| 7 | 0.41 | 0.13 | 0.7 | 0.2 |
| 8 | 0.7 | 0.22 | 1.2 | 0.4 |
| 9 | 1.7 | 0.54 | 2.8 | 0.9 |
| 10 | 0.6 | 0.19 | 1 | 0.3 |
| 14 | 8.1 | 2.58 | 13.4 | 4.3 |
| 15 | 9.3 | 2.96 | 15.4 | 4.9 |
| 16 | 1.21 | 0.38 | 2 | 0.6 |
| 17 | 4.47 | 1.42 | 7.4 | 2.4 |
| 18 | 12.8 | 4.07 | 21.2 | 6.8 |
| 19 | 1.2 | 0.38 | 2 | 0.6 |
| 27 | 2.4 | 0.76 | 4 | 1.3 |
| 35 | 2.2 | 0.7 | 3.6 | 1.2 |
| 35N | 0.9 | 0.29 | 1.5 | 0.5 |
| 35R | 3.6 | 1.14 | 6 | 1.9 |
| 40 | 0.21 | 0.07 | 0.3 | 0.1 |
| 41 | 0.55 | 0.17 | 0.9 | 0.3 |
| 42 | 1.15 | 0.37 | 1.9 | 0.6 |
| 44 | 0.14 | 0.04 | 0.2 | 0.1 |
| 45B | 0.14 | 0.04 | 0.7 | 0.2 |
| 45A | 0.42 | 0.13 | 0.6 | 0.2 |

| | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|
| 46 | 0.35 | 0.11 | 0.7 | 0.2 |
| 47 | 0.8 | 0.25 | 0.6 | 0.2 |
| 55 | 3.17 | 1.01 | 5.3 | 1.7 |
| 63 | 1 | 0.32 | 1.7 | 0.5 |
| 98 | 6.55 | 2.08 | 10.9 | 3.5 |
| Parqueadero 2 | 0.1 | 0.03 | 0.2 | 0.1 |
| ZONA 2 | | | | |
| 11 | 12.9 | 4.1 | 21.4 | 6.8 |
| 12 | 11 | 3.5 | 18.2 | 5.8 |
| 13 | 4.6 | 1.46 | 7.6 | 2.4 |
| 20 | 1.3 | 0.41 | 2.2 | 0.7 |
| 21 | 17.8 | 5.66 | 29.5 | 9.4 |
| 22 | 13.8 | 4.39 | 22.9 | 7.3 |
| 23 | 14 | 4.45 | 23.2 | 7.4 |
| 24 | 12.9 | 4.1 | 21.4 | 6.8 |
| 25 | 13.4 | 4.26 | 22.2 | 7.1 |
| 26 | 22. | 7.12 | 37.2 | 11.8 |
| 29 | 22.6 | 7.19 | 37.5 | 11.9 |
| 30 | 15.7 | 4.99 | 26 | 8.3 |
| 34A | 4 | 1.27 | 6.6 | 2.1 |
| 34B | 3.95 | 1.26 | 6.6 | 2.1 |
| 39 | 2.28 | 0.73 | 3.8 | 1.2 |
| 76 | 3.05 | 0.97 | 5.1 | 1.6 |
| 81 | 50.3 | 16 | 83.4 | 26.5 |
| 82 | 26.2 | 8.33 | 43.5 | 13.8 |

Fuente: Corabastos 2022

Con respecto a esta información, se evidencia que:

- En 2019 las bodegas 26, 81 y 82 eran las que más generaban residuos, situación que no ha cambiado, ya que las bodegas hacen el deshoje, aislamiento y comercialización de los productos alimenticios.
- En términos porcentuales, Corabastos aproxima un aumento anual de residuos sólidos del 31,5 %, es decir, que si en 2019 el porcentaje diario de

residuos era de 322,3 m³/día en 2020 aumentara a 353,79m³/día y así respectivamente. (Corabastos, 2022).

Se muestra que, si la cantidad de residuos que genera Corabastos no recibe el manejo adecuado, puede representar un riesgo sanitario para la ciudad.

- Determinar cuáles y cuantos residuos sólidos orgánicos son viables para la producción de biogás

En este sentido, según el marco teórico, se evidencia que los residuos F.O.R.S.U son los que presentan el mayor potencial de generación, alcanzando un porcentaje del 100%. Además, de acuerdo con la tabla 2 “Generación diaria aproximada de residuos sólidos orgánicos en las bodegas de Zona 1 y Zona 2 de Corabastos en el año 2019.”, se puede observar que estos residuos son los que más se encuentran en Corabastos, lo que los convierte en una alternativa muy interesante para su utilización en el biodigestor.

La tabla 2 proporciona información sobre la generación diaria aproximada de residuos sólidos orgánicos en las bodegas de la Zona 1 y Zona 2 de Corabastos en el año 2019. Para calcular el total de generación promedio de residuos sólidos orgánicos, se sumaron los valores correspondientes de cada bodega en la columna "generación promedio (ton/día)", obteniendo un resultado de 99,94 ton/día. Luego, se multiplicó este valor por 365 días para obtener la cifra anual, que resultó ser de 36,478 toneladas por año.

2. Objetivo: Determinar la producción de biogás a partir de los residuos sólidos orgánicos por medio del simulador *Biogas World*.

- Determinar las características del biodigestor a implementar.

Para una plaza de mercado como Corabastos, que maneja residuos orgánicos y donde se requiere una alta capacidad de tratamiento, se recomienda usar biodigestores de flujo continuo.

Estos biodigestores permiten un tratamiento continuo de los residuos y una producción constante de biogás y fertilizante orgánico, lo que los hace ideales para el manejo de grandes volúmenes de residuos. Además, los biodigestores de flujo continuo son más eficientes en términos de producción de biogás y reducción de los residuos no digeridos. También requieren menos tiempo de retención hidráulica, o sea, se puede tratar más residuos en un tiempo menor.

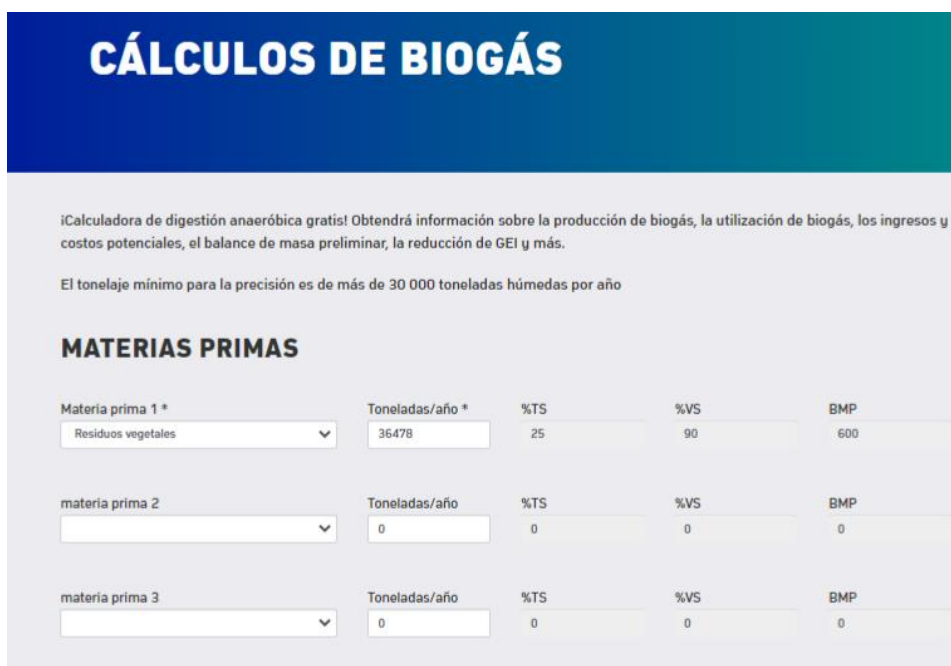
- Realizar la simulación de la producción de energía eléctrica del biodigestor.
-

Para la simulación de la producción de energía eléctrica a partir de residuos sólidos orgánicos, Biomasa, se usó el simulador *Biogas World*, donde a partir de la cantidad de residuos promediada en toneladas por año (Ton/año) y se calcula la cantidad de energía que puede ser producida medida por kilovatio por hora (kWh).

Siendo así, el primer paso fue:

Ingresar el tipo de materia orgánica, el promedio de cantidad anual, medido por toneladas. El simulador permitía la entrada de hasta tres (3) tipos de materias primas, pero en este caso solo se ingresó un tipo de materia, residuos vegetales y la cifra fue de 36.478 ton/día, valor que se calculó de las cantidades registradas en las bodegas de la zona 1 y zona 2.

Figura 18. Ingreso de datos sobre los residuos sólidos orgánicos promedio en ton/año.



CÁLCULOS DE BIOGÁS

¡Calculadora de digestión anaeróbica gratis! Obtendrá información sobre la producción de biogás, la utilización de biogás, los ingresos y costos potenciales, el balance de masa preliminar, la reducción de GEI y más.

El tonelaje mínimo para la precisión es de más de 30 000 toneladas húmedas por año

MATERIAS PRIMAS

| Materia prima 1 * | Toneladas/año * | %TS | %VS | BMP |
|--------------------|-----------------|-----|-----|-----|
| Residuos vegetales | 36478 | 25 | 90 | 600 |
| materia prima 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| materia prima 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: (Simulador *Biogas World*, 2023).

El siguiente paso fue determinar las características de la planta de biogás a simular, donde se definió que sería de tipo industrial y húmedo; su producción de biometano iba a

ser de uso a la red; el uso del digestato iba a ser como compost; y un valor predeterminado del 5% de contaminantes. Adicionalmente se tuvo en cuenta el costo del kWh por parte del operador de red de Bogotá e ingresó el valor equivalente en euros ya que así lo requería la plataforma.

Figura 19. Ingreso de datos sobre las características de la planta de biogás a simular.



Fuente: (Simulador *Biogas World*, 2023).

Después de ingresar estos datos, el simulador *Biogas World* emite un informe final donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5. Datos de ingreso y resultados de simulador *Biogas World*

| Biogas Plant Specifications | |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Feedstocks | 34.478 ton/year of Vegetable waste |
| Digester Type | Wet |
| Contaminants Level | 5% |
| Biogas Usage | Biomethane to grid |
| Digestate Usage | Compost |
| Solid Content Before Digestion | 25% TS (solid content should be adjusted for the digester type) |

| Results | |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Biogas Production | 4.678.304 m ³ /año lo que equivale a 534 m ³ /hora |
| Biomethane Production | 2.864.057 m ³ per year or the equivalent of 2.712.899L of diesel |
| Total, Digestate | 28.993 tons/year |
| Greenhouse Gas | (GHG) reduction will be around 8.625 tons CO ₂ eq./yr for landfill diversion and 5.442 tons CO ₂ eq./yr for renewable energy production. |

Fuente: (Biogas World Informe, 2023).

La **Tabla 5** detalla los principales datos ingresados al simulador, como lo son el tipo y la cantidad de materia prima usada, el uso del biogás y del digestato generado en el proceso. En la sección de resultados, se tiene la cantidad de biogás generado al año en m³/año y su equivalente en generación diaria. También detalla la cantidad de biometano presente en m³ y Litros, y la cantidad de digestato anual en toneladas.

3. Objetivo: Determinar la viabilidad técnica de la producción de energía solar fotovoltaica a partir de las variables ambientales y las características específicas de los equipos.

- Definir ubicación del sistema delimitando el espacio necesario para la instalación tanto de los paneles solares como del resto del sistema.

Ciudad: Bogotá D.C.

Altitud: 2.550 m.s.n.m.

Coordenadas de ubicación de Corabastos: 4,37°N; -74,09°W

Corabastos tiene un área bastante extensa en cubiertas libres ya que tiene 32 bodegas, pero para el diseño de este sistema se requieren 700m², dicho espacio pertenece a las cubiertas de 3 bodegas que tienen la firmeza necesaria para la ubicación de la estructura de los paneles solares.

Figura 20. Cubiertas aptas para la instalación de los paneles solares.



Fuente: (Google Earth, 2023).

- Recopilar la información meteorológica para la simulación de la producción de energía solar fotovoltaica por medio de Solargis.

Para realizar la simulación del componente de energía solar del sistema híbrido, en necesario contar con información de las condiciones climáticas de Bogotá para la generación eléctrica. Para esto, por medio de *Global Solar Atlas* de Solargis se obtuvo un informe del día 07 de abril de 2023 con la siguiente información meteorológica del área:

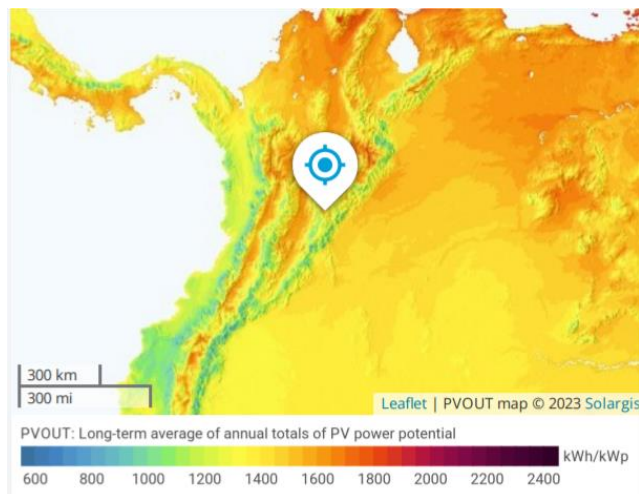
Figura 21. Datos meteorológicos de Bogotá por año.

| Map data | | Per year |
|--------------------------------------------|----------------|---------------------------|
| Specific photovoltaic power output | PVOUT specific | 1418.0 kWh/kWp |
| Direct normal irradiation | DNI | 1237.2 kWh/m ² |
| Global horizontal irradiation | GHI | 1736.6 kWh/m ² |
| Diffuse horizontal irradiation | DIF | 907.5 kWh/m ² |
| Global tilted irradiation at optimum angle | GTI opta | 1743.6 kWh/m ² |
| Optimum tilt of PV modules | OPTA | 7 / 180 ° |
| Air temperature | TEMP | 15.4 °C |
| Terrain elevation | ELE | 2567 m |

Fuente: (Global Solar Atlas, 2023).

El siguiente mapa refleja el potencial del área seleccionada para el estudio, con coordenadas 4,37°N; -74,09°W. Allí se muestra una escala de colores que va desde el color azul, hasta el violeta donde este es el punto máximo de potencial fotovoltaico ideal. Bogotá, se encuentra aproximadamente en un punto de 1400kWh/kWp.

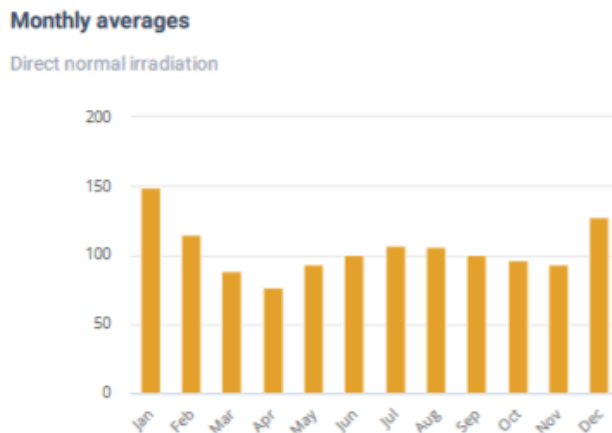
Figura 22. Mapa del potencial fotovoltaico anual de Bogotá, Colombia.



Fuente: (Global Solar Atlas, 2023).

El siguiente diagrama de barras detalla el promedio mensual de irradiación por metro cuadrado en Bogotá, donde en los meses de enero y diciembre tienen los niveles más altos entre los 100 kWh y los 150 kWh. Y el porcentaje promedio anual de irradiación directa normal es de 1257.1 kWh/m².

Figura 23. Promedio de irradiación en kWh/m² mensual y anual en Bogotá, Colombia.



Fuente: (Global Solar Atlas, 2023).

La **Tabla 6**, detalla el promedio de la irradiación en kWh/m² por hora en cada mes en Bogotá, donde el primer hallazgo es que los niveles de irradiancia se muestran desde las 6am hasta las 6pm, con la excepción del mes de febrero y el mes de julio, donde se registran dos valores de 8 kWh/m² y 11 kWh/m², respectivamente. Por una escala de colores (que incluye el gris, amarillo, naranja y rojo) donde el gris con menos irradiancia, y el rojo las horas con mayores niveles.

En rojo, se resaltan las horas con mayor promedio, como en enero entre las 8 y las 12pm, las irradiancias entre los 578 kWh/m² y los 524kWh/m² y en diciembre, entre las 8 y las 10am, entre los 525 kWh/m² y los 501 kWh/m². En los demás meses los promedios de irradiancia oscilan aproximadamente entre los 200 kWh/m² y los 350 kWh/m².

Tabla 6. Promedio de irradiación en kWh/m² por hora al mes en Bogotá, Colombia.

Average hourly profiles
Direct normal irradiation [Wh/m²]

| | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 - 1 | | | | | | | | | | | | |
| 1 - 2 | | | | | | | | | | | | |
| 2 - 3 | | | | | | | | | | | | |
| 3 - 4 | | | | | | | | | | | | |
| 4 - 5 | | | | | | | | | | | | |
| 5 - 6 | | | | | | | | | | | | |
| 6 - 7 | 88 | 66 | 49 | 92 | 163 | 170 | 122 | 120 | 132 | 198 | 152 | 167 |
| 7 - 8 | 486 | 391 | 273 | 251 | 277 | 281 | 292 | 294 | 337 | 352 | 395 | 467 |
| 8 - 9 | 578 | 484 | 329 | 283 | 287 | 277 | 289 | 292 | 355 | 379 | 428 | 525 |
| 9 - 10 | 588 | 493 | 335 | 247 | 252 | 253 | 266 | 288 | 318 | 327 | 366 | 501 |
| 10 - 11 | 567 | 486 | 329 | 225 | 232 | 262 | 270 | 285 | 293 | 282 | 319 | 443 |
| 11 - 12 | 524 | 451 | 289 | 280 | 291 | 347 | 365 | 329 | 274 | 255 | 270 | 385 |
| 12 - 13 | 445 | 388 | 252 | 219 | 240 | 286 | 313 | 304 | 280 | 247 | 240 | 332 |
| 13 - 14 | 392 | 329 | 231 | 205 | 244 | 285 | 304 | 302 | 284 | 229 | 214 | 301 |
| 14 - 15 | 344 | 288 | 210 | 200 | 261 | 313 | 316 | 314 | 299 | 235 | 216 | 291 |
| 15 - 16 | 333 | 281 | 207 | 213 | 287 | 333 | 336 | 330 | 318 | 256 | 225 | 304 |
| 16 - 17 | 304 | 264 | 216 | 232 | 293 | 326 | 332 | 325 | 308 | 254 | 227 | 295 |
| 17 - 18 | 175 | 193 | 156 | 161 | 188 | 231 | 252 | 232 | 140 | 89 | 72 | 113 |
| 18 - 19 | | 8 | | | | | 11 | | | | | |
| 19 - 20 | | | | | | | | | | | | |
| 20 - 21 | | | | | | | | | | | | |
| 21 - 22 | | | | | | | | | | | | |
| 22 - 23 | | | | | | | | | | | | |
| 23 - 24 | | | | | | | | | | | | |
| Sum | 4824 | 4122 | 2876 | 2579 | 3014 | 3364 | 3467 | 3415 | 3338 | 3103 | 3124 | 4122 |

Fuente: (Global Solar Atlas, 2023).

- Definir el tipo de paneles solares fotovoltaicos e inversor a usar.

En el software PVsyst se encuentran inscritos gran cantidad de proveedores de inversores y paneles solares, así como también se encuentran enlistados todos los productos por sus características. Es importante anotar que tanto paneles como inversores se encuentran exentos de IVA debido a la ley 1955 de 2019. Para este sistema, se escogieron los elementos con las siguientes características:

Inversor SUN2000-100KTL-M1

El inversor es Huawei, con una trayectoria de más de 30 años con soluciones en tecnología, y recientemente la incorporación de inteligencia artificial mejorando así la eficiencia de los dispositivos y de los sistemas. (Huawei, 2023).

El inversor SUN2000-100KTL-M1 cuenta con características técnicas que lo hacen una opción viable para el proyecto, una eficiencia del 98,8% y 10 años de garantía, así como también tiene una capacidad máxima de entrada de 100kW en paneles solares (PV).

Algunos de sus proveedores en Colombia son las empresas Solaire, Solartex y Autosolar y su costo oscila entre los \$23.250.000 es de \$32'810.000.

Panel solar Longi 545W

LONGi cuenta con tres gamas de productos de paneles solares: Hi-MO 4, Hi-MO 5 y Hi-MO N. Cuenta con la mayor capacidad de producción de paneles del sector, con más de 65 GW en su red de capacidad integrada, lo que garantiza plenamente el suministro de paneles. Además, la red de producción facilita la distribución internacional de los paneles mediante transporte terrestre, ferroviario y marítimo. (Longi, 2023).

Algunos de los proveedores en Colombia son Impresistem, Improinde y Solaire. Su precio oscila entre los 0.25 USD y 0,3 USD el vatio, es decir, en pesos colombianos unos \$735.750.

Nota: Al final de este documento, como parte de los Anexos se encuentran las fichas con las especificaciones técnicas de estos productos.

- Realizar la simulación en el software PVsyst.

Para el desarrollo de la simulación, se estableció un paso a paso con los aspectos necesarios para tener un sistema de generación fotovoltaica de conexión a la red. Así se consideran los datos sobre las condiciones meteorológicas de las coordenadas escogidas y el espacio apto y disponible para la instalación del sistema. A continuación, el proceso para la simulación:

- Crear un nuevo proyecto en PVsyst e introducir los datos del sitio, como la latitud, altitud y datos climáticos.
- Seleccionar el tipo de módulos solares que se utilizarán y configurar sus parámetros eléctricos, como la eficiencia y la temperatura de operación.

- Definir el arreglo fotovoltaico, incluyendo el número de módulos, el tipo de configuración, el ángulo de inclinación y la orientación.
- Introducir los datos de inversores, como la eficiencia y la capacidad de entrada.
- Configurar los parámetros del sistema, como el tipo de cableado y la configuración de la puesta a tierra.
- Definir la configuración de la red eléctrica, incluyendo la tensión de la red y las restricciones de conexión.
- Configurar la simulación de sombreado, si es necesario, para tener en cuenta la sombra que puede caer en el arreglo fotovoltaico a lo largo del día.
- Ejecutar la simulación y revisar los resultados para evaluar el rendimiento del sistema fotovoltaico, incluyendo la producción de energía y la eficiencia.

Una vez se realizan los pasos anteriores, se obtienen los resultados en el siguiente informe:

Figura 24. Descripción de los aspectos generales de la ubicación del proyecto, del sistema de generación y los principales resultados.

| Resumen del proyecto | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------|
| Sitio geográfico Bogotá, Colombia Colombia | Situación Latitud 4.63 °N Longitud -74.16 °W Altitud 2548 m Zona horaria UTC-5 | Configuración del proyecto Albedo 0.20 | |
| Datos meteo Bogotá, Colombia Meteonorm 8.0 (2010-2014), Sat=100% - Sintético | | | |
| Resumen del sistema | | | |
| Sistema conectado a la red Simulación para el año n° 1 | Sin escena 3D definida, sin sombras | | |
| Orientación campo FV Planos fijos 2 orientaciones Inclin./azimuts 10 / -63 ° 10 / 5 ° | Sombreados cercanos Sin sombreados | Necesidades del usuario Carga ilimitada (red) | |
| Información del sistema Conjunto FV Núm. de módulos 240 unidades Pnom total 131 kWp | Inversores Núm. de unidades 1 unidad Pnom total 100 kWca Proporción Pnom 1.308 | | |
| Resumen de resultados | | | |
| Energía producida 166519 kWh/año | Producción específica 1273 kWh/kWp/año | Proporción rend. PR | 77.25 % |

Fuente: (Informe PVsyst, 2023).

En la sección de los parámetros y características generales, se encuentra información como los ángulos de inclinación y la cantidad de paneles solares a usar, teniendo en cuenta la potencia y el área disponible indicada inicialmente, así como también las características del inversor seleccionado.

Figura 25. Características y cantidades de los suministros escogidos para la simulación del sistema.

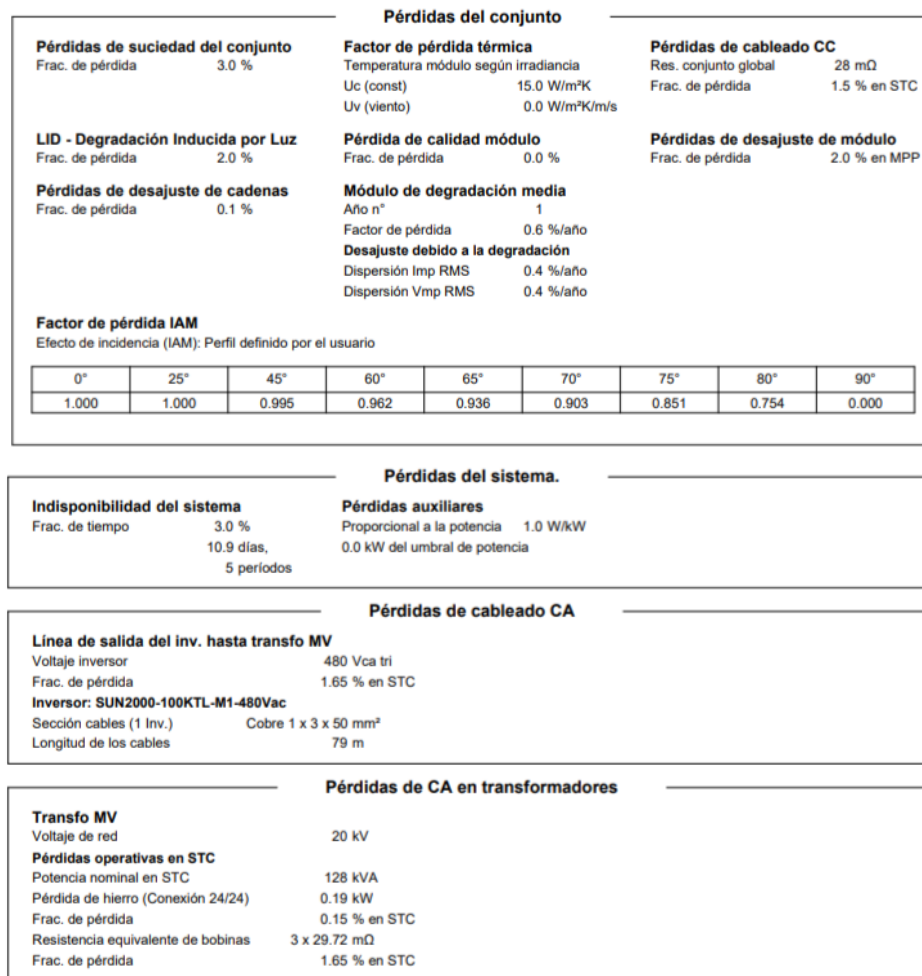
| Parámetros generales | | | |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|--|
| Sistema conectado a la red | | Sin escena 3D definida, sin sombras | |
| Orientación campo FV | | | |
| Orientación | | | |
| Planos fijos | 2 orientaciones | Configuración de cobertizos | |
| Inclin./azimuts | 10 / -63 ° | Sin escena 3D definida | |
| | 10 / 5 ° | Modelos usados | |
| Horizonte | | Transposición Perez | |
| Horizonte libre | | Difuso Perez, Meteonom | |
| | | Circunsolar separado | |
| | | Necesidades del usuario | |
| | | Carga ilimitada (red) | |

| Características del conjunto FV | | | |
|--------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Módulo FV | | Inversor | |
| Fabricante | Longi Solar | Fabricante | Huawei Technologies |
| Modelo | LR5-72 HPH 545 M | Modelo | SUN2000-100KTL-M1-480Vac |
| (Base de datos PVsyst original) | | (Base de datos PVsyst original) | |
| Unidad Nom. Potencia | 545 Wp | Unidad Nom. Potencia | 100 kWca |
| Número de módulos FV | 240 unidades | Número de inversores | 10 * MPPT 10% 1 unidad |
| Nominal (STC) | 131 kWp | Potencia total | 100 kWca |
| Módulos | 20 Cadenas x 12 En series | Voltaje de funcionamiento | 200-1000 V |
| En cond. de funcionam. (50°C) | | Potencia máx. (=>40°C) | 110 kWca |
| Pmpp | 120 kWp | Proporción Pnom (CC:CA) | 1.31 |
| U mpp | 450 V | | |
| I mpp | 266 A | | |
| Potencia FV total | | Potencia total del inversor | |
| Nominal (STC) | 131 kWp | Potencia total | 100 kWca |
| Total | 240 módulos | Número de inversores | 1 unidad |
| Área del módulo | 613 m² | Proporción Pnom | 1.31 |
| Área celular | 571 m² | | |

Fuente: (Informe PVsyst, 2023).

En la sección de pérdidas, el sistema toma en cuenta condiciones como la suciedad, el paso por el cableado y transformadores, las condiciones climáticas y térmicas, la calidad del módulo, entre otros, lo cual permite tener un estimado a largo plazo sobre la producción durante la vida útil del sistema.

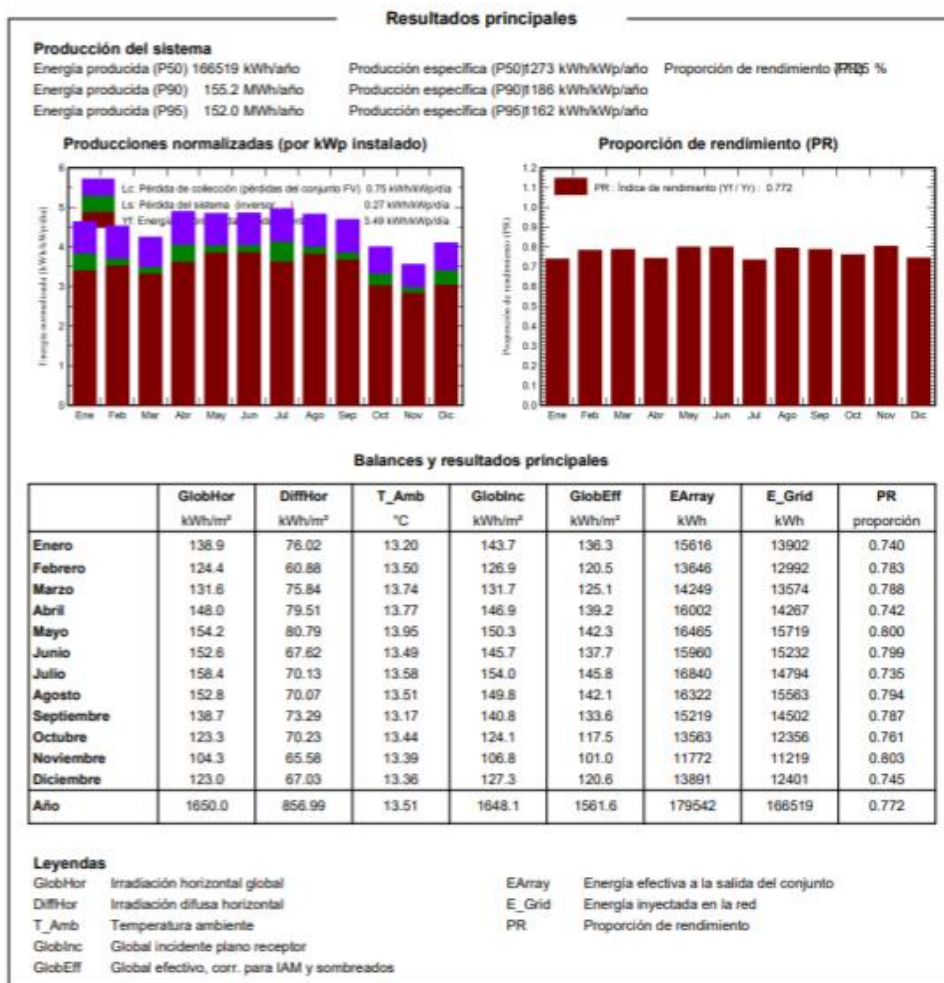
Figura 26. Estimación de pérdidas del sistema a causa de los distintos factores.



Fuente: (Informe PVsyst, 2023).

Como parte de los resultados principales, en los siguientes diagramas de barras se obtiene la estimación de la producción de energía mes a mes durante un año expresada en kWh/año (Kilovatio hora por año) y MWh/año (Megavatio hora por año), restando los valores ya calculados sobre las pérdidas del conjunto y del sistema; y la producción específica del sistema, expresada en kWh/kWp/año (Kilovatio hora y kilovatio pico por año). En la parte inferior, se encuentra una tabla con el balance con los valores de las irradiancias, la temperatura, el plano incidente receptor, la energía saliente del conjunto y la energía inyectada en la red, desde enero hasta diciembre en un año.

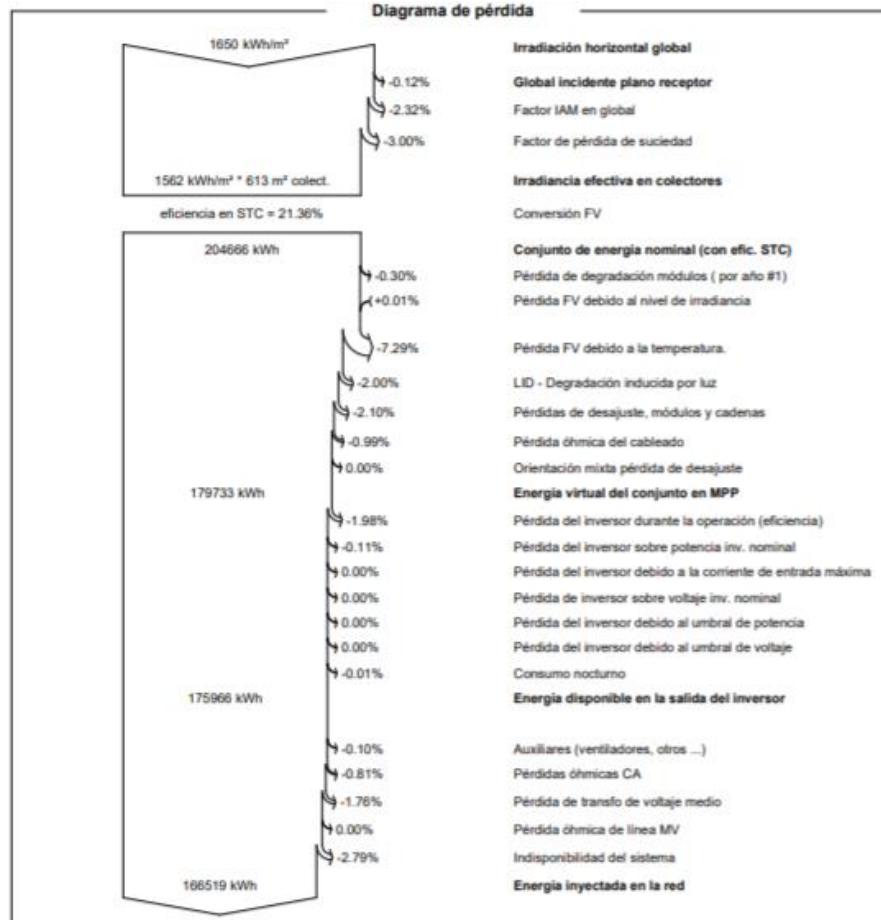
Figura 27. Diagrama de barras que representa la estimación de producción anual de energía del sistema.



Fuente: (Informe PVsyst, 2023).

Al considerar los distintos factores que ocasionan pérdidas de energía en el sistema, los siguientes diagramas explican los porcentajes de cada uno de los factores:

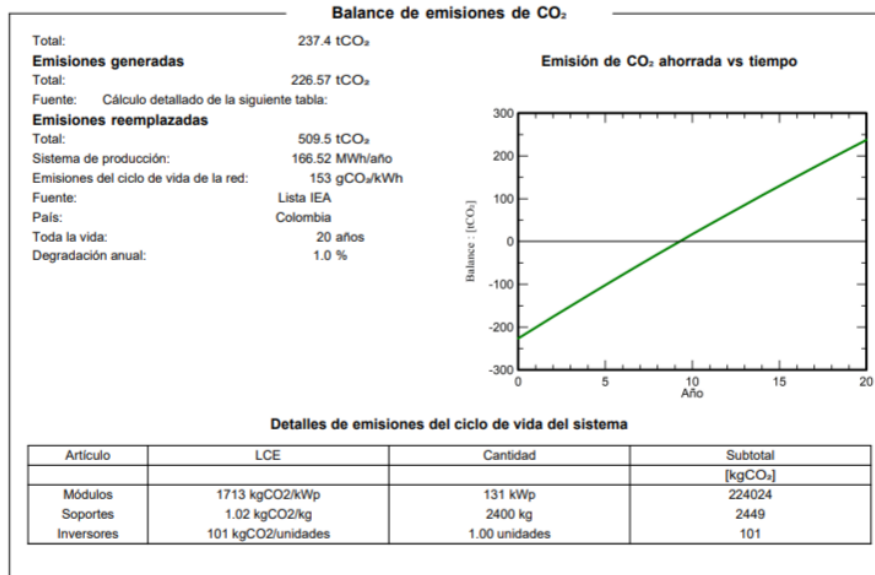
Figura 28. Diagramas de pérdidas de la simulación.



Fuente: (Informe PVsyst, 2023).

En cuanto al balance de emisiones de dióxido de carbono CO₂, se detalla la reducción total de emisiones que se generarían y las que se dejarían de producir con el sistema fotovoltaico. Esta información es representada gráficamente con una línea de emisiones ahorradas de dióxido de carbono con respecto al tiempo:

Figura 29. Detalles de las emisiones de CO2



Fuente: (Informe PVsyst, 2023).

4. Objetivo: Calcular la eficiencia en la producción de energía eléctrica del sistema híbrido.

- Unificar la producción de energía eléctrica del biodigestor y del sistema solar fotovoltaico.

Teniendo en cuenta los valores arrojados por los simuladores PVsyst y Biogas World, se suman los valores de energía eléctrica producida por hora por ambas fuentes y se tiene el valor de la energía total del sistema simulado.

Tabla 7 Energía total del sistema simulado

| FUENTE | ENERGÍA PRODUCIDA | ENERGÍA TOTAL |
|----------------------------|-------------------|---------------|
| Energía Solar Fotovoltaica | 1273 kWh | 2555,6 kWh |
| Biomasa | 1282,6 kWh | |

Fuente Elaboración Propia

Considerando la energía teórica, se calcula la eficiencia según los porcentajes de eficiencia de los dos sistemas.

Tabla 8 Porcentaje de eficiencia

| % Sistema Solar Fotovoltaico | %Biogás |
|------------------------------|---------|
| 77.25% | 79% |

Fuente Elaboración Propia

Se promedian los porcentajes para tener el valor de la eficiencia real del sistema, el cual es **78,13%**

Y ahora realizamos el procedimiento para conocer el valor de la eficiencia de producción:

$$\frac{2555.6 \text{ kWh} \cdot 78.13\%}{100\%} = 1996.6 \text{ kWh}$$

La producción del sistema es de **1996.6 kWh**

7.2. Análisis de datos

Con respecto a los resultados obtenidos a través de la investigación y la simulación de producción de energía eléctrica de ambas fuentes en los simuladores Biogás World y PVsyst, se obtuvieron los siguientes:

Componente Biomasa

Producción de Biogás: 4.678.304 m³/año - 534 m³/hora.

Producción de Biometano: 2.864.057 m³.

Digestato Total: 28.993 toneladas al año.

Reducción de CO2: 8625 toneladas de CO2.

Teniendo en cuenta que se debe realizar una conversión de unidades entre la producción de biogás y su equivalente en energía eléctrica(kWh), se realizó el siguiente procedimiento:

Según los resultados del simulador Biogas World, el Biogás generado tiene un valor de composición de Biometano, equivalente a $2.864.057 \text{ m}^3$. Para conocer el porcentaje de biometano en el total de la producción, se hace el siguiente procedimiento:

Se toma el valor total del biometano producido, multiplicado por el 100% y se divide entre el biogás producido, esto nos da como resultado, 61,2%

$$\frac{2.864.057 \text{ m}^3 \cdot 100\%}{4.678.304 \text{ m}^3} = 61,2\%$$

- De acuerdo con la producción de Biogás dada por el simulador, que es $534 \text{ m}^3/\text{hora}$ se realiza la conversión a kWh:

Para calcular la equivalencia entre biogás (m^3) y energía eléctrica (kWh) se debía conocer el porcentaje de biometano presente en el biogás, ya que el valor energético de 1 m^3 de biogás con un 60% de biometano equivale a $2,4 \text{ kWh}$.

Si 1 m^3 de biogás = $2,4 \text{ kWh}$, entonces,

534 m^3 de biogás

equivalen a:

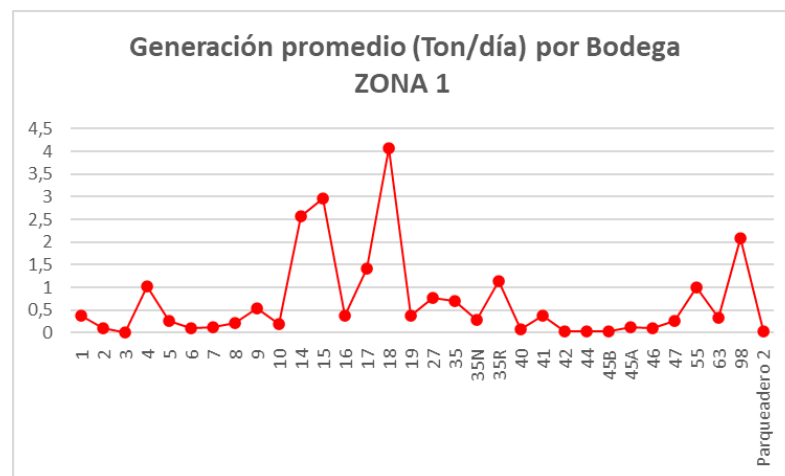
$$\text{Energía eléctrica kWh} = \frac{534 \text{ m}^3 \cdot 2,4 \text{ kWh}}{1 \text{ m}^3}$$

$$\text{Energía eléctrica} = 1281,6 \text{ kWh}$$

Como resultado final, se tiene que la producción de energía eléctrica a partir del biogás es **1281.6kWh**.

Los residuos escogidos fueron los de la tabla 3 *Generación diaria aproximada de residuos sólidos orgánicos en las bodegas de Zona 1 y Zona 2 de Corabastos en el año 2019*, donde se evidencia la zonificación de Corabastos y el promedio diario de residuos por bodega, se determinó escoger todos, ya que son residuos que según la literatura hacen parte de residuos tipo F.O.R.S.U. y sirven para producir biogás. De manera gráfica se presentan los promedios de generación de residuos sólidos orgánicos de la Zona 1 y Zona 2 de Corabastos de Bogotá. En la zona 1 se cuenta con 31 bodegas de almacenamiento, distribución y venta de productos y con el parqueadero 2.

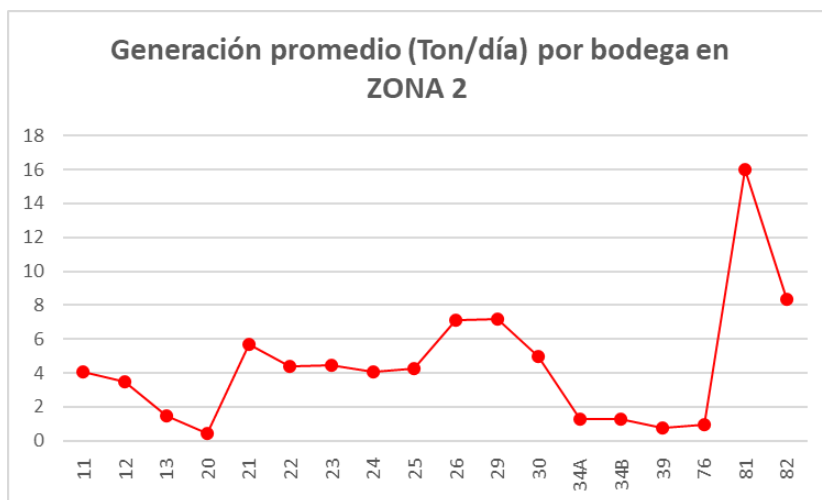
Figura 30. Gráfica de generación promedio de residuos sólidos orgánicos en la Zona 1 (Ton/día)



Fuente: Elaboración propia.

Para la Zona 2, se cuenta con 18 bodegas de almacenamiento, distribución y venta de, donde se refleja que los promedios de generación de residuos sólidos orgánicos son mayores a los obtenidos en la Zona 1.

Figura 31. Gráfica de generación promedio de residuos sólidos orgánicos en la Zona 2(Ton/día)



Fuente: Elaboración propia.

Componente Solar

Capacidad de producción del sistema: 131kWp

Cantidad de paneles usados y potencia: 240 unidades de 545W Monocristalino

Cantidad de inversores: 1 inversor SUN2000-100KTL-M1.

Balance de emisiones generadas: 226.57 tCO2 en 20 años.

Área requerida: 700 m²

Para simular este proyecto fotovoltaico se consideraron diversos factores como el área disponible para la instalación, ya que deben ser estructura firme que soporte el peso de los paneles solares, las condiciones meteorológicas del sector, la irradiancia por metro cuadrado, la calidad y especificaciones técnicas de los equipos seleccionados.

Teniendo en cuenta la producción de Energía Eléctrica a partir del Biogás se realiza la suma con la producción del componente solar para conocer la producción de energía de ambas fuentes.

Tabla 9 Energía total del sistema simulado

| FUENTE | ENERGÍA PRODUCIDA | ENERGÍA TOTAL |
|----------------------------|-------------------|---------------|
| Energía Solar Fotovoltaica | 1273 kWh | 2555,6 kWh |
| Biomasa | 1282,6 kWh | |

Fuente Elaboración Propia

La producción total del sistema híbrido es de **2555,6 kWh** es una producción considerable y teniendo en cuenta que la eficiencia del sistema es de 77.13% podemos considerar que el sistema es aceptable para la producción de energía eléctrica en Corabastos.

8. Recomendaciones y conclusiones

8.1. Recomendaciones

Se recomienda indagar con informes más recientes de Corabastos para tener un contexto más amplio y actual sobre la tasa de generación de residuos sólidos orgánicos de Corabastos de Bogotá para que se tengan las bases necesarias para seguir con el diseño y la implementación del biodigestor, ya que en la investigación realizada las cifras de generación se obtuvieron a partir de datos del año 2021 y 2022, por medio del simulador Biogás World.

Para desarrollar el sistema fotovoltaico se recomienda visitar técnicas a Corabastos para conocer el estado actual de las cubiertas y determinar el área específica apta para la instalación de la estructura y los paneles solares, considerando que cada panel solar de 545W Longi pesa unos 21 kg, ya que podría variar la potencia del sistema fotovoltaico. Las visitas técnicas son importantes para determinar el área disponible para la instalación del biodigestor.

La capacitación y toma de conciencia para los comerciantes de Corabastos y vecinos del sector, ya que la reducción de la generación de residuos y aprovechamiento de estos es responsabilidad de todos, y encontrar opiniones para reutilizarlos y planes para mitigar su producción

8.2. Conclusiones

Se identificó que los residuos sólidos orgánicos de la plaza de mercado Corabastos de Bogotá, se encontraban divididos por medio de una zonificación interna donde se tenían clasificadas las tasas de generación y tipos de residuos, adicionalmente hacen parte de residuos F.O.R.S.U que son cascaras, restos de frutas y verduras y restos de carnes que de acuerdo con la literatura estos residuos son los que mayor potencial de generación tienen, y fueron los que se ingresaron al simulador.

La simulación de la producción de Biogás a partir de 34.476 toneladas de residuos sólidos orgánicos anuales en Corabastos de Bogotá fue de 4.678.304 m³/año y 534 m³/h equivalente a 1281.6 kWh con una eficiencia del 79% teniendo en cuenta las pérdidas del sistema, lo cual es un valor aceptable y se tiene una reducción de 8625 toneladas de CO₂ al año, lo cual representa una cifra positiva en cuanto al aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos.

La simulación de la producción por hora de la energía solar fotovoltaica fue de 1273kWh, con un sistema de 131kWp con una eficiencia del 77.25%, siendo un valor aceptable, considerando que es un sistema con una vida útil de 20 años, teniendo en cuenta que las condiciones climáticas de Bogotá y los niveles de irradiación son aptos y viables para desarrollarse este sistema.

El aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en la central de Corabastos de Bogotá a partir del sistema híbrido de generación de energía eléctrica, podrá reducir la cantidad de residuos que ingresan al relleno sanitario Doña Juana, y al mismo tiempo se puede generar energía limpia y renovable que mitigara el impacto ambiental. El sistema híbrido permitiría reducir los costos energéticos del operador de red y la confiabilidad con la infraestructura eléctrica, así como los comerciantes.

9. Referencias

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2021, 6 mayo). Planta de biogás Dona Juana en Bogotá. Mi Ciudad - Hábitat. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/habitat/planta-de-biogas-dona-juana-en-bogota>

A Laguarda. (2021) Modelado de la irradiancia solar sobre la superficie terrestre.

Recuperado de

<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/28319/1/LAG21.pdf>

Aldás, J. (2011). Diseño e implementación de un sistema SCADA para el control y monitoreo de variables de un sistema de bombeo de agua [Tesis de licenciatura, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Digital EPN.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1650>

América Fotovoltaica. (2023). *Instalación sistemas de energía solar - América*

Fotovoltaica. Recuperado el 19 de marzo de 2023, de

<http://www.americafotovoltaica.com/diagrama-de-instalacion-solar>

Aprean. (2023). *Panel Fotovoltaico*. Recuperado el 6 de abril de 2023, de:

<https://www.aprean.com/energia-fotovoltaica/panel-fotovoltaico/>

Autosolar. (2023). *¿Qué es un panel solar?* Recuperado el 6 de abril de 2023, de

<https://autosolar.es/energia-solar/que-es-un-panel-solar>

Acueducto de Bogotá. (2023). *Biogás*. Recuperado de:

<https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/ambiente/saneamiento/rio-bogota/ptar-salitre/productos-de-la-ptar-salitre/biogas>

Cáceres, E. A. D. (2019). *Modelo de simulación de un sistema de generación híbrido solar fotovoltaico acoplado a un motor de combustión interna diesel bi - fuel integrando un gasificador de biomasa para zonas no interconectadas* [Universidad Autónoma de Bucaramanga]. Recuperado de:

<https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/7104>

CJS Canecas. (2023). *Impacto ambiental por el mal manejo de basuras*. Recuperado de: <https://www.canecas.com.co/impactos-ambientales-de-las-basuras>

Clavijo, A. (2023). *La UAESP (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos) recibió \$1.592 millones por la operación de la Planta Biogás Colombia*. Recuperado de: <https://www.uaesp.gov.co/noticias/la-uaesp-recibio-1592-millones-la-operacion-la-planta-biogas-colombia>

Corabastos (2022) ANEXO No.01-TÉCNICO CONVOCATORIA PÚBLICA No. 005 de 2020. Recuperado de <https://corabastos.com.co/inicio/wp-content/uploads/2022/09/ANEXO-TECNICO-CONVOCATORIA-PUBLICA-N-005-DE-2022-1.pdf>

Corabastos (2022) ANEXO TÉCNICO. Recuperado de <https://corabastos.com.co/inicio/wp-content/uploads/2022/11/3.-ANEXO-3-INFORMACION-TECNICA-DF.pdf>

Congreso de la república de Colombia. (Ed.). (2014). *Ley 1715 de 2014*. Recuperado de: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>

Congreso de la república de Colombia. (Ed.). (2021). *Ley 2099 de 2021*. Recuperado de: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326>

Contraloría de Envigado. (2011). *Informe del estado de los Recursos Naturales y el Ambiente del Municipio de Envigado 2011*. Recuperado de: <https://www.contraloriaenvigado.gov.co/documentos/informes-macro/informe-del-estado-de-rn-y-ma/informe-ambiental-2011.pdf>

Corabastos (2022). *Nuestra Historia*. Recuperado de: <https://corabastos.com.co/inicio/nosotros/>

Duarte, E. A. (2019). *Modelo de simulación de un sistema de generación híbrido solar fotovoltaico acoplado a un motor de combustión interna Diesel bi-fuel integrando un*

gasificador de biomasa para zonas no interconectadas. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/20.500.12749/7104>.

Energyeducation.ca. (2023). *Célula fotovoltaica*. Recuperado el 7 de abril de 2023, de
https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php/C%C3%A9lula_fotovoltaica

Fernández, M. V. (2022). *Energía solar en Colombia*. Recuperado de
https://www.icex.es/content/dam/es/icex/oficinas/020/documentos/2022/12/fichas-sector/FS_Energ%C3%ADa%20solar%20en%20Colombia%202022_REV.pdf

Fundación Aquae. (2023). *Biodigestor*. Recuperado el 24 de mayo de 2023, de
<https://www.fundacionaquae.org/wiki/biodigestor/>

Gobierno de la Provincia de Santa Fe. (2019). *Manual de uso de biodigestores 1000l*.
Recuperado de <https://www.santafe.gob.ar/ms/academia/wp-content/uploads/sites/27/2019/09/Manual-de-uso-de-biodigestores-1000l.pdf>

Global Solar Atlas. (2023). *GSA Report Bogota*. Recuperado de:
https://globalsolaratlas.info/map?r=COL:COL.14_1&c=4.653422,-74.083557,11&s=4.627073,-74.081497&m=site

González, A. A. (2014). *Manual de composteras para la gestión integral de residuos orgánicos domiciliarios*. Universidad Nacional, Costa Rica. Recuperado de
<https://documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/3818/Manual%20Composteras.pdf>

González, D. A. (2010). *PROTOTIPO DE SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA PROYECTOS DE COOPERACIÓN AL DESARROLLO CON TECNOLOGÍAS APROPIADAS*. <https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10871/PROYECTO%20fina.%20David%20Arija%20Gonzalez.pdf>

Google Earth. (2023). [Corabastos de Bogotá]. Recuperado el 18 de marzo de 2023 de https://earth.google.com/web/search/corabastos+de+Bogot%c3%a1/@4.6323179,-74.1621932,2546.80999485a,1052.67872591d,35y,0h,45t,0r/data=CoABGIYSUAoIMHg4ZTNmOWMyOTFIMWZIMDY3OjB4ODg3ZiU3NGU2Nzc1NjFmZRmbs_RXfocSQCGMaJZfYYpSwCoVY29yYWJhc3RvcyBkZSBCb2dvdMOhGAlqASImCiQJaiDyJNiUEkARZ5ZiQYp5EkAZPdZfxVSIUsAhbt6OpgOMUsAoAq

Gutiérrez-Correa, M., Pérez-Vázquez, A., & González-Barrios, J. A. (2009). Biodigestores: una alternativa para el tratamiento de residuos orgánicos y la obtención de biogás. *Revista Digital Universitaria*, 10(2). Recuperado de <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10722/Biodigestores.pdf?sequence=1>

Huawei. 2023. *Huawei FusionSolar Smart PV Solution*. Recuperado el 07 de abril de 2023, de <https://solar.huawei.com/latam>

Ineldec. (2020). *¿De qué están hechos los paneles solares?* Recuperado de: <https://ineldec.com/de-que-estan-hechos-los-paneles-solares-fotovoltaicos/>

IPCC (2019). *Climate Change and Land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. IPCC. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/srccl/>

Longi. (2023). *LONGi Hi-MO 5*. Recuperado el 05 de abril de 2023, de <https://www.longi.com/mx/products/modules/hi-mo-5/>

Mantilla, A. M. R. (2019). *Modelación y simulación para el dimensionamiento de un sistema híbrido* [Universidad Autónoma de Bucaramanga]. https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/7125/2019_Presentacion_Andres_Mauricio_Rojas_Mantilla.pdf?sequence=2&isAllowed=y

MinAmbiente. (2019). *Gobierno unifica el código de colores para la separación de residuos en la fuente a nivel nacional | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*.

Recuperado de: <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/4595-gobierno-unifica-el-codigo-de-colores-para-la-separacion-de-residuos-en-la-fuente-a-nivel-nacional>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Residuos sólidos. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1018>

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2018). Uso eficiente de recursos: agua y energía. Recuperado de <https://www.mincit.gov.co/getattachment/c957c5b4-4f22-4a75-be4d-73e7b64e4736/17-10-2018-Uso-Eficiente-de-Recursos-Agua-y-Energi.aspx>

Montecinos, S. y Carvajal, D. (2018). *Energías renovables: Escenario actual y perspectivas futuras*. Editorial Universidad de la Serena.
https://www.google.com.co/books/edition/Energ%C3%ADas_renovables/PXKMDwAAQB_AJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=Paneles+policristalinos+caracter%C3%ADsticas&pg=PT17&printsec=frontcover

OMS. (2022). *Gestión segura de los residuos de la atención de salud*. Resumen. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/352327/WHO-FWC-WSH-17.05-spa.pdf>

Perpiñán, O. 2023. *Energía Solar Fotovoltaica*. Creative Commons. Recuperado de: <http://oscarperpinan.github.io/esf/>.

Peña, S. (2016). La biomasa: Importancia, tipos y características y formas de preparación. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/311171316_La_biomasa_Importancia_tipos_y_caracteristicas_y_formas_de_preparacion

PVsystem. (2023). *PVsystem*. Recuperado 18 de marzo de 2023, de <https://www.pvsystem.com/>

Rincón educativo. (2023). *La basura*. Recuperado de: <https://rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/la-basura>

Romero. J (2020) *ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGANICOS CON POSIBILIDAD DE APLICACIÓN POR PARTE DE LA CORPORACIÓN DE ABASTOS DE BOGOTÁ – CORABASTOS*

https://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/18225/7/RomeroJohn_2020_TratamientoOrganicosCorabastos.pdf

SEI. (2023). *Energía solar y eólica en Colombia: panorama y resumen de políticas 2022*.

Recuperado de: <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2023/03/solar-eolica-colombia-sei2023.016.pdf>

Solargis. (2023). *Global Solar Atlas*. Recuperado el 7 de abril de 2023, de

<https://globalsolaratlas.info/map>

UAESP. (2023). *La UAESP recibió \$1.592 millones por la operación de la Planta Biogás Colombia*. UAESP. Recuperado de:

<https://www.uaesp.gov.co/noticias/la-uaesp-recibio-1592-millones-la-operacion-la-planta-biogas-colombia>

Vidal, L. (2013, 3 enero). Qué es un biodigestor y cómo implementarlo en casa. *Bioguía*.

https://www.bioguia.com/innovacion/biodigestores_29295392.html

Westreicher. G (2022) *Ventajas y desventajas de la biomasa*. Recuperado de:

<https://economipedia.com/definiciones/ventajas-y-desventajas-de-la-biomasa.html>

XM. (2022). *Generación del SIN (Sistema Interconectado Nacional)*. Recuperado

de: <https://informeannual.xm.com.co/informe/pages/xm/21-generacion-del-sin.html>

A. Anexo. Principales referentes bibliográficos

| Nombre | Tema | Cita |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Biogás | <p>El Relleno Sanitario Doña Juana tiene una planta de Biogás que acompañada de la UAESP (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos) han logrado el aprovechamiento de los residuos “para que sean invertidos en proyectos sociales y ambientales, que benefician a las comunidades aledañas a Doña Juana como Mochuelo Alto y Bajo.” (Clavijo,2023). Además de que se ven beneficiados económicamente, también en términos ambientales está aportando a la mejora de la calidad del aire. Si la disposición de residuos en Bogotá no se trata de manera adecuada por los ciudadanos generara problemas ambientales, tanto que el Departamento Nacional de Planeación DPN ha previsto que para 2030 el país estaría en emergencia sanitaria por la alta generación de emisiones de gases efecto invernadero, lo que afectaría la calidad del aire.</p> | <p>UAESP. (2023). <i>La UAESP recibió \$1.592 millones por la operación de la Planta Biogás Colombia</i>. UAESP. https://www.uaesp.gov.co/noticias/la-uaesp-recibio-1592-millones-la-operacion-la-planta-biogas-colombia</p> |

| | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Libro: Caso de estudio. Formulación de una herramienta de cálculo para estimar la energía y el potencial de generación a partir de Biomasa | La biomasa puede ser usada como una fuente de producción energética, contribuyendo a la disminución de gases de efecto invernadero y reduciendo el ritmo del cambio climático, siendo un componente importante para lograr la descarbonización. Hay tres tipos de generación de biomasa, varían sus componentes, tienen propiedades físicas y químicas, y se puede calcular para estimar la producción mediante una programación en el programa Excel. | (PDF) Sistemas de Biomasa y Bioenergía: Casos Ejemplares En Iberoamérica. Hacia la sustentabilidad bioenergética territorial (researchgate.net) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | |
| <p>Eficiencia energética de los edificios. Certificación energética</p> | <p>Este libro, a partir de la página 18, describe los tipos de energía como lo son la energía solar térmica, energía solar fotovoltaica y energía de la biomasa y los usos e implementación en las edificaciones, donde también se habla de la cogeneración y la eficiencia energética.</p> <p>La fuente es muy útil, ya que nuestro</p> | <p>https://books.google.com.co/books?id=F8hHDwAAQBAJ&pg=PA23&dq=sistemas+de+biomasa+y+energia+solar&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi4isaeutf9AhUkklQIHageAh444HhDoAXoECAKQAg#v=onepage&q&f=false</p> |

| | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>proyecto idea es implementar un sistema híbrido en Corabastos, y se puede considerar en uso la estructura de las bodegas para optimizar y diseñar la forma de instalación del sistema.</p> | |
| <p>Tesis: Generación distribuida basada en sistemas híbridos caso de estudio: La Guajira, Colombia</p> | <p>En esta tesis de grado, se presenta el estudio de un modelo de generación distribuida para las zonas no interconectadas de la Guajira, donde se presenta la parte normativa de acuerdo con las resoluciones de la CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) que implican estos proyectos en Colombia, incluyendo parámetros como deberes y beneficios tributarios. Se presentan casos de otros países de Europa y América Latina donde ya se aplicaron proyectos de este tipo y sus beneficios, así como también se tiene una contextualización detallada de todos los aspectos y cifras importantes de generación y autogeneración distribuida.</p> <p>Después de la descripción de la zona geográfica donde se desarrolla el caso de estudio, se tiene el modelamiento y el diseño del HPS, el sistema de gasificación de la biomasa y el modelamiento del sistema fotovoltaico, con todos los cálculos matemáticos y la descripción técnica de cada elemento a usar. Se presentan los análisis de los resultados y las simulaciones en 3D sobre los sistemas diseñados.</p> <p>Esta tesis de grado es una gran fuente de información puesto que nos proporciona unas bases teóricas y legales para el desarrollo de nuestra investigación.</p> | <p>file:///C:/Users/LinaM/Downloads/1015424344.2022.pdf</p> |
| <p>Impacto ambiental por el mal manejo de basuras</p> | <p>Para entender el impacto ambiental que producen las basuras y el mal manejo empezamos porque aún no dimensionamos la importancia de reciclar y que si se separaran los desechos se podrían obtener importantes resultados para la calidad de vida de nosotros y del país.</p> <p>“En ese sentido, los humanos han generado más desechos de los que la naturaleza puede hacer frente y, en algunos casos, devastando ecosistemas enteros al hacer un mal manejo de basuras” (CJS Canecas, 2023)</p> | <p>https://www.canecas.com.co/impactos-ambientales-de-las-basuras</p> |

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>Lo que conlleva que para poder implementar un sistema híbrido se debe identificar qué clase de desechos nos servirían para su funcionamiento y como advertir al comerciante de Corabastos de darle un manejo adecuado a las basuras.</p> | |
| <p>Libro: Energía solar fotovoltaica</p> | <p>Este libro contiene una explicación detallada de todos los componentes matemáticos y los aspectos necesarios para comprender como funciona la producción de energía eléctrica a partir del aprovechamiento de la radiación solar. Además, explica los sistemas fotovoltaicos que se pueden construir para aprovechar la energía eléctrica producida, como los sistemas aislados o autónomos, los sistemas de conexión a la red, también llamados sistemas híbridos y los sistemas de bombeo, utilizando diagramas, gráficos y dimensionamientos. Además, explica el funcionamiento de los elementos de los sistemas fotovoltaicos y la importancia de su correcto uso. Este libro es apoyado ya que, aunque el sistema planteado en esta tesis es híbrido, es necesario conocer el funcionamiento de cada uno de los dos componentes que lo integran.</p> | <p>Perpiñán, O. 2023. Energía Solar Fotovoltaica. http://oscarperpinan.github.io/esf/.</p> |
| <p>Tesis: Modelación y simulación para el dimensionamiento de un sistema híbrido</p> | <p>Esta tesis de grado (Mantilla, 2019)</p> | <p>Mantilla, A. M. R. (2019). <i>Modelación y simulación para el dimensionamiento de un sistema híbrido</i> [Universidad Autónoma de Bucaramanga]. https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/7125/2019_Presentacion_Andres_Mauricio_Rojas_Mantilla.pdf?sequence=2&isAllowed=y</p> |
| <p>Informe: Energía solar y eólica en Colombia: panorama y resumen de políticas 2022</p> | <p>Informe de energía solar y eólica en Colombia</p> | <p>SEI. (2023). <i>Energía solar y eólica en Colombia: panorama y resumen de políticas 2022</i>. https://www.sei.org/wp-content/uploads/2023/03/solar-eolica-colombia-sei2023.016.pdf</p> |
| <p>Modelo de simulación de un sistema de generación híbrido solar fotovoltaico acoplado a un motor de combustión interna Diesel bi-fuel integrando un gasificador de biomasa para zonas no interconectada</p> | <p>En esta tesis nos hablan de la contribución a mejorar la calidad de vida de las ZNI (Zonas No Interconectadas) mediante un sistema híbrido con paneles solares y Biomasa.</p> <p>“El objetivo principal del proyecto es modelar un sistema híbrido que integre paneles fotovoltaicos, grupo electrógeno y gasificación de biomasa caña flecha. Para esto se realiza un levantamiento de datos” (Duarte, 2019)</p> <p>Esta tesis nos servirá de material de apoyo, ya que su resultado es obtener los</p> | <p>Cáceres, E. A. D. (2019). <i>Modelo de simulación de un sistema de generación híbrido solar fotovoltaico acoplado a un motor de combustión interna diesel bi-fuel integrando un gasificador de biomasa para zonas no interconectadas</i> [Universidad Autónoma de Bucaramanga]. https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/7104</p> |

| | | |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| | cálculos necesarios para la simulación, aunque en términos geográficos no es igual, la investigación busca obtener la eficiencia, factor importante para nuestra investigación. | |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

Anexo B. Fichas Técnicas

Ficha técnica de inversor Huawei

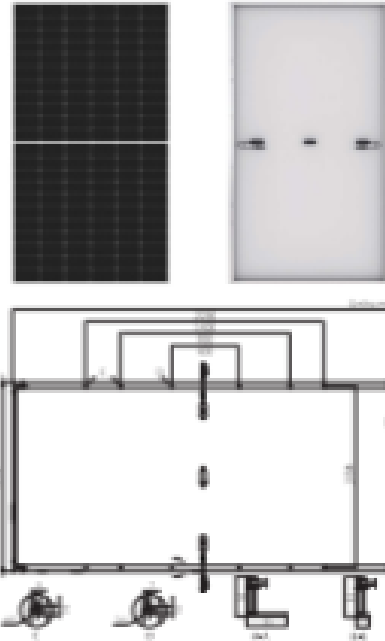
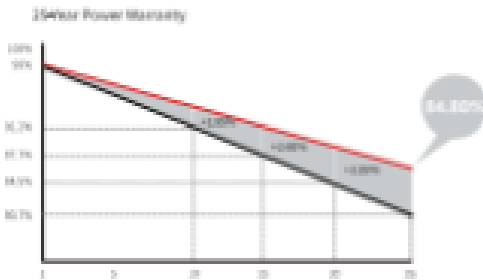
Ficha técnica de panel solar Longi

Hi-MO 5m

LR5-72HPH 525~550M

| | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 21.5% PSE MODULE EFFICIENCY | 0~+5W POWER TOLERANCE | <2% PSE YEAR POWER DEGRADATION | 0.55% YEAR MULT. POWER DEGRADATION | HALF-CELL Lower operating temperature |
|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|

Additional Value



Mechanical Parameters

| | |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Cell Orientation | 144/18/120 |
| Junction Box | IP65, three-busbars |
| Output Cable | 4mm ² , positive-480 / negative 200mm length can be customized |
| Glass | Single glass, 3.2mm coated tempered glass |
| Frame | Anodized aluminum alloy frame |
| Weight | 27.2kg |
| Dimensions | 2284x1133x35mm |
| Packaging | 33pcs per pallet / 120pcs per 20' GP / 800pcs per 40' HC |

Electrical Characteristics

| | 525 | 530 | 535 | 540 | 545 | 550 |
|-----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Maximum Power (P _{max} /W) | 525 | 530 | 535 | 540 | 545 | 550 |
| Open Circuit Voltage (V _{oc} /V) | 49.05 | 49.25 | 49.35 | 49.50 | 49.65 | 49.80 |
| Short Circuit Current (I _{sc} /A) | 13.65 | 13.73 | 13.78 | 13.85 | 13.90 | 13.98 |
| Voltage at Maximum Power (V _{mp} /V) | 41.28 | 41.35 | 41.50 | 41.65 | 41.80 | 41.95 |
| Current at Maximum Power (I _{mp} /A) | 12.75 | 12.80 | 12.80 | 12.91 | 13.04 | 13.12 |
| Module Efficiency(%) | 20.5 | 20.7 | 20.9 | 21.1 | 21.3 | 21.5 |

Operating Parameters

| | |
|----------------------------------------------------------|----------------|
| Operational Temperature | -40°C ~ +85°C |
| Power Output Tolerance | 0 ~ +5% |
| Voc and Isc Tolerance | ±0.5% |
| Maximum System Voltage (DC voltage) (V _{oc} /V) | 1000 |
| Maximum Series Fuse Rating | 25A |
| Nominal Operating Cell Temperature | 45±1°C |
| Protection Class | Class B |
| Fuse Rating | 18 type 6.3A/2 |

Mechanical Loading

| | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Front Side Maximum Static Loading | 5400Pa |
| Rear Side Maximum Static Loading | 2400Pa |
| Uniform Wind | 20m/s maximum at the speed of 30m/s |

Temperature Ratings (STC)

| | |
|---------------------------------------------|------------|
| Temperature Coefficient of Isc | +0.045%/°C |
| Temperature Coefficient of Voc | -0.275%/°C |
| Temperature Coefficient of P _{max} | -0.500%/°C |



Road 18, Sujialu Financial Plaza, Century Avenue
 525, Pudong Shanghai, China
 Tel: +86-21-60401666
 Web: www.longi.com.cn

Specifications included in this datasheet are subject to change without notice. ©2021 LONGI Solar Co., Ltd. All rights reserved.

SUN2000-100KTL-M1 Smart String Inverter




10
MPPT Trackers


98.8% (0-400V)
Max. Efficiency


String-level
Management

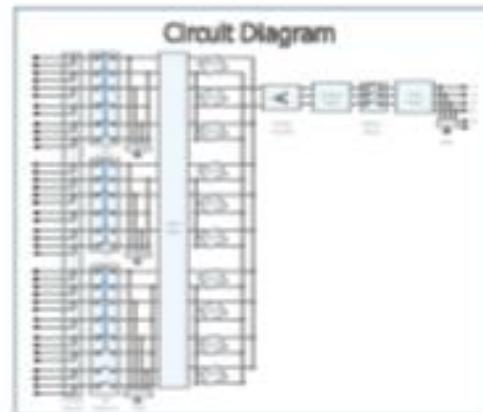

Smart I-V Curve
Diagnosis Supported


MBUS
Supported


Fuse Free
Design


Surge Arresters for
DC & AC


IP66
Protection



SUN2000-100KTL-M1

Technical Specifications

| Efficiency | |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Max. Efficiency | 98.8% @480 V, 98.6% @380 V / 400 V |
| European Efficiency | 98.6% @480 V, 98.4% @380 V / 400 V |
| Input | |
| Max. Input Voltage | 1,100 V |
| Max. Current per MPPT | 26 A |
| Max. Short Circuit Current per MPPT | 40 A |
| Start Voltage | 200 V |
| MPPT Operating Voltage Range | 200 V - 1,000 V |
| Nominal Input Voltage | 720 V @480 Vac, 600 V @400 Vac, 570 V @380 Vac |
| Number of Inputs | 20 |
| Number of MPPT Trackers | 10 |
| Output | |
| Nominal AC Active Power | 100,000 W |
| Max. AC Apparent Power | 110,000 VA |
| Max. AC Active Power (cosφ=1) | 110,000 W |
| Nominal Output Voltage | 480 V / 400 V / 380 V, 3W-(N)-PE |
| Rated AC Grid Frequency | 50 Hz / 60 Hz |
| Nominal Output Current | 125.3 A @480 V, 146.4 A @400 V, 152.0 A @380 V |
| Max. Output Current | 133.7 A @480 V, 160.4 A @400 V, 168.8 A @380 V |
| Adjustable Power Factor Range | 0.8 LG ... 0.8 LD |
| Max. Total Harmonic Distortion | < 3% |
| Protection | |
| Input-side Disconnection Device | Yes |
| Anti-islanding Protection | Yes |
| AC Overcurrent Protection | Yes |
| DC Reverse-polarity Protection | Yes |
| PV array String Fault Monitoring | Yes |
| DC Surge Arrester | Type B |
| AC Surge Arrester | Type B |
| DC Insulation Resistance Detection | Yes |
| Residual Current Monitoring Unit | Yes |
| Communication | |
| Display | LED Indicators, WLAN + APP |
| USB | Yes |
| MBUS | Yes (isolation transformer required) |
| RS485 | Yes |
| General | |
| Dimensions (W x H x D) | 1,020 x 700 x 385 mm (40.7 x 27.6 x 14.4 inch) |
| Weight (with mounting plate) | 90 kg (198.4 lb.) |
| Operating Temperature Range | -25°C - 60°C (-13°F - 140°F) |
| Cooling Method | Smart Air Cooling |
| Max. Operating Altitude without Derating | 4,000 m (13,123 ft.) |
| Relative Humidity | 0 - 100% |
| DC Connector | Stäubli MCA |
| AC Connector | Waterproof Connector + OT/OT Terminal |
| Protection Degree | IP66 |
| Topology | Transformerless |
| Standard Compliance (more available upon request) | |
| Certificates | EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683 |

