

**IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES A ESCALA PILOTO
PARA ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO CON UN SISTEMA HÍBRIDO
EÓLICO – SOLAR Y DE BIOGÁS EN UNA VIVIENDA RURAL UBICADA EN
ZIPAQUIRÁ, CUNDINAMARCA**

Elaborado por:
JOSE MIGUEL MOYANO PALACIO
NICOLAS ROWLANDS LIEVANO

Proyecto de grado - Pregrado
Modalidad: Trabajo de grado

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ
2020

**IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES A ESCALA PILOTO
PARA ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO CON UN SISTEMA HÍBRIDO
EÓLICO – SOLAR Y DE BIOGÁS EN UNA VIVIENDA RURAL UBICADA EN
ZIPAQUIRÁ, CUNDINAMARCA**

Línea de Investigación:

Tecnologías Ambientales

Elaborado por:

JOSÉ MIGUEL MOYANO PALACIO
NICOLAS ROWLANDS LIEVANO

Proyecto de grado - Pregrado

Modalidad: Trabajo de grado

Director:

Ing. Nidia Elena Ortiz Penagos

Codirector:

Ing. Juan José Vargas Osorio

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ
2020

Tabla de contenido

Título	Pg
Resumen	6
Abstract.....	8
Introducción	9
Objetivos	12
Objetivo General.....	12
Objetivo Especifico	12
Marco Teórico	13
Metodología	20
Resultados	27
Impacto Social	65
Conclusiones	66
Recomendaciones	68
Bibliografía	69
Anexos	71

Índice de Tablas

Tabla		Pg
Tabla 1	Tiempo de retención según Temperatura.....	18
Tabla 2	Producción de estiércol fresco diario.....	18
Tabla 3	Consumo de equipos	27
Tabla 4	Equipos sistema híbrido	35
Tabla 5	Cantidad de Residuos Orgánicos.....	51
Tabla 6	Costos de Sistema Híbrido	60
Tabla 7	Calculo VPN y TIR Sistema Híbrido	61
Tabla 8	Costos de Biodigestor	62
Tabla 9	Calculo VPN y TIR Sistema Híbrido	63

Índice de Imágenes

Tabla	Pg
Imagen 1	Matriz eléctrica colombiana 11
Imagen 2	Bidón con cierre de guaya 24
Imagen 3	Bidón con cierre hermético y aro de metal..... 24
Imagen 4	Bidón de cierre aro metálico 25
Imagen 5	Televisor Samsung 28
Imagen 6	Información del Tv 28
Imagen 7	Nevera 28
Imagen 8	Información del motor de la Nevera 28
Imagen 9	Bombilla Incandescente 29
Imagen 10	Bombilla Led 29
Imagen 11	Especificaciones Licuadora 29
Imagen 12	Especificaciones Ducha Eléctrica 29
Imagen 13	Lavadora..... 30
Imagen 14	Tejado de la Vivienda 30
Imagen 15	Mapa de Radiación Solar Multianual 31
Imagen 16	Esquema de construcción de aerogenerador 36
Imagen 17	Corte de tubo de largo 37
Imagen 18	Corte de puntos en el tubo de PVC 37
Imagen 19	Soldadura de tuercas con arandelas 38
Imagen 20	Derecho de la arandela al soldarla al tubo metálico 38
Imagen 21	Ajuste de eje en tubo soldado 39
Imagen 22	Ajuste de ejes con tubos..... 40
Imagen 23	Instalación de tubos cortados en rines con abrazaderas 40
Imagen 24	Instalación completa de tubos cortados en rines 42
Imagen 25	Exterior de cabaña Antes..... 42
Imagen 26	Interior de la Cabaña Antes 42
Imagen 27	Adecuación del suelo dentro de la Cabaña 42
Imagen 28	Exterior de cabaña 43
Imagen 29	Exterior de la Cabaña con aislante 43
Imagen 30	Cabaña Terminada 43
Imagen 31	Insumos Inóculo 44
Imagen 32	Inóculo 45
Imagen 33	Esquema construcción Biodigestor..... 46
Imagen 34	Corte circular bidón 47
Imagen 35	Ensamble parte biol 47
Imagen 36	Ensamble parte biogás 48
Imagen 37	Ensamble parte entrada continua 48

Imagen 38	Ensamble parte embudo	59
Imagen 39	Pesaje heces bovino	50
Imagen 40	Pesaje residuos de poda	50
Imagen 41	Pesaje residuos orgánicos de cocina	51
Imagen 42	Mezcla de residuos orgánicos vivienda en bidón	52
Imagen 43	Enchaquetamiendo biodigestor	52
Imagen 44	Conectores MC4, Cable con terminales	54
Imagen 45	Conexión en Paralelo panel- controlador	54
Imagen 46	Conexión a la batería con seguros	55
Imagen 47	Conexión de los equipos al controlador	55
Imagen 48	Conexión y prueba de los equipos	56
Imagen 49	Prueba de batería cargando Taladro	56
Imagen 50	Prueba de bombilla y amplificador	56
Imagen 51	Corriente del controlador sistema híbrido	57
Imagen 52	Instalación del Sistema Híbrido en la vivienda	57
Imagen 53	Voltaje de la batería	58
Imagen 54	Acido batería.....	58
Imagen 55	Filtrado Acido	59
Imagen 56	Filtrado Final	59
Imagen 57	Fuente de Carga	59
Imagen 58	Carga de la Batería	60

Resumen

A medida que la población va en aumento, también aumentan las necesidades básicas para satisfacerse, una de ellas es la demanda de energía; debido a que existen muchas formas de generación, unas más sostenibles que otras, pero que aún no se ha logrado un equilibrio donde se den buen porcentaje a las energías renovables en la matriz energética mundial, solo en la última década y hasta la fecha las energías renovables han tomado una fuerza importante para combatir el cambio climático debido a gran parte por la explotación de combustibles fósiles. En Colombia se ha intentado dejar de lado la generación por combustibles fósiles y se encamina más a una generación hidroeléctrica, que también tienen sus impactos en el ambiente y que tiene buen porcentaje de generación energética en el país, es por eso que en Colombia debe buscarse implementar más proyectos de energías renovables, en donde se puedan aprovechar todos los recursos disponibles en nuestro territorio para poder transformarlos en energía y poder brindarle este servicio a las personas menos favorecidas en las ZNI (Zonas No Interconectadas).

El siguiente proyecto se realizó con el fin de dimensionar e implementar a escala piloto un sistema de generación eléctrica y de biogás de acuerdo con la demanda de una vivienda rural habitada por dos personas, ubicada en el municipio de Zipaquirá, en la zona rural del páramo de Guerrero. Esta zona cuenta con red eléctrica y la vivienda tiene servicio de energía; sin embargo, éste presenta problemas de intermitencia. Por medio del desarrollo de este trabajo se brindó una alternativa energética con implementación de energías renovables solar, eólica y aprovechamiento de biomasa residual para generación de biogás.

Se dimensionó un sistema híbrido (solar - eólico), con almacenamiento en baterías reutilizadas con el fin de reducir los costos de implementación teniendo en cuenta que el mantenimiento y compra de baterías en un sistema de energías renovables es una de las operaciones con mayor costo. Se logró satisfacer el 65 % de la demanda requerida de energía por la vivienda, como también reducir algunos costos de implementación del sistema debido a los procedimientos realizados de construcción del aerogenerador y la regeneración de las baterías.

El proceso de regeneración consistió en una filtración para la limpieza del ácido sulfúrico de una batería estándar de carro de 12 V, 115 Ah y la adición de ácido al 60% hasta ajustar la concentración requerida de éste de 32%; posteriormente, se recargó la batería con una fuente durante 24h hasta obtener un voltaje de 12 V. Finalmente, se realizó una prueba de descarga utilizando resistencias eléctricas y se midió el tiempo del ciclo de descarga, para conocer la capacidad de la batería regenerada.

Por otra parte, se dimensionó e implementó un biodigestor anaerobio para la generación de biogás a partir de residuos orgánicos domésticos, de podas y purines bovinos; debido a las condiciones climatológicas del lugar, se construyó un sistema de aislamiento térmico por medio de enchaquetamiento en estilo vivienda invernadero con paredes aislantes que minimizó la pérdida de energía calórica del biodigestor para favorecer los procesos metabólicos.

Palabras claves: biogás, energías renovables, energía solar, generador eólico, sistema híbrido, tecnologías más limpias

Abstract

As the population grows, so do basic needs to meet, one of them is energy demand; because there are many forms of generation, some more sustainable than others, but that a balance has not yet been achieved where renewable energy is given a good percentage in the global energy matrix, only in the last decade and to date have renewable energy taken a significant force to combat climate change due to much of the exploitation of fossil fuels.

In Colombia, there has been an attempt to set aside the generation by fossil fuels and is more aimed at a hydroelectric generation, which also have its impacts on the environment and that has a good percentage of energy generation in the country, that is why in Colombia it must seek to implement more renewable energy projects, where you can take advantage of all the resources available in our territory to be able to transform them into energy and be able to provide this service to the less NIENCs (Non-Interconnected Zones).

The next project was carried out in order to size and implement on a pilot scale a system of electricity generation and biogas according to the demand of a rural house inhabited by two people, located in the municipality of Zipaquirá, in the rural area of the moor of Guerrero. This area has a power grid and the house has power service; however, it presents problems of intermittent. Through the development of this work, an energy alternative was provided with the implementation of solar, wind renewable energies and the use of residual biomass for biogas generation.

A hybrid (solar - wind) system was sized, with storage in reused batteries in order to reduce implementation costs considering that the maintenance and purchase of batteries in a renewable energy system is one of the most costly operations. 65% of the required demand for energy by the home, as well as some costs of system implementation due to wind turbine construction and battery regeneration procedures, were met.

The regeneration process consisted of a filtration for the cleaning of the sulphuric acid of a standard 12 V trolley battery, 115 Ah and the addition of acid to 60% until the required concentration of the latter was adjusted to 32%; Subsequently, the battery was recharged with a source for 24 hours until a voltage of 12 V. Finally, a discharge test was performed using electrical resistors and the discharge cycle time was measured, to know the capacity of the regenerated battery.

On the other hand, an anaerobic biodigester for the generation of biogas from domestic organic waste, pruning and bovine slurry was sized and implemented; Due to the climatic conditions of the place, a thermal insulation system was built by means of enchating in the greenhouse housing style with insulating walls that minimized the loss of caloric energy of the biodigester to favor metabolic processes.

Keywords: biogas, renewable energy, solar power, wind generator, hybrid system, cleaner technologie

Introducción

La generación de energía global se encuentra en una etapa caracterizada por una transformación constante, donde las energías renovables están tomando el centro del escenario y presentan un crecimiento acelerado en las últimas décadas, sólo en la última y hasta la fecha, la capacidad de las energías renovables se ha duplicado, con un crecimiento anual progresivo [1].

Para el 2017, la capacidad de generación global total a través de energía renovable fue de 2180 Gigavatios (GW), incluyendo todo tipo de energías energía mareomotriz, energía solar térmica, energía solar fotovoltaica, energía geotérmica, energía eólica, bioenergía e hidroenergía [1].

El suministro de energía eléctrica y gas en zonas rurales de Colombia siempre ha sido un reto para las entidades gubernamentales que buscan diferentes maneras de brindar a la población las necesidades básicas. Una de éstas es el abastecimiento de energía pues muchas zonas de Colombia aún son Zonas No Interconectadas (ZNI) o cuentan con intermitencia en el fluido eléctrico, donde el suministro de energía se ve perjudicado en gran manera por la condición orográfica del país, como es el caso de Zipaquirá en su zona rural donde algunas áreas no se encuentran conectadas a la red nacional de energía y otras tienen problemas de intermitencia [2].

La prestación del servicio de energía eléctrica en estas zonas sigue siendo un reto en materia de sostenibilidad técnica, económica, social y ambiental. Las condiciones de éstas, principalmente su dispersión y vulnerabilidad al conflicto, así como las oportunidades de aprovechamiento de sus recursos naturales, hacen que sigan estando como prioridad dentro de la política pública del país mediante propuestas, mecanismos y proyectos que buscan promover su desarrollo y mejorar la calidad de vida de sus habitantes [2].

A medida que va en aumento la población, aumenta también las necesidades básicas que se necesitan para suplir a toda la población, y una de estas es la demanda de energía; según un estudio realizado por la International I Agency [1], para el año 2050 se espera que la demanda de energía incrementará en un 70 %, y a su vez las emisiones crecerán en un 60% si las fuentes de generación siguen siendo las convencionales como la hidroeléctrica y combustibles fósiles. Las energías renovables como lo son la solar, hidroeléctrica y eólica terrestre están despuntando, mientras que el desarrollo de otras formas de suministro energético limpias es diverso [2].

Aunque algunos países acuden a las energías renovables principalmente por razones de independencia energética y motivaciones ambientales, otros países acuden a ellas a raíz de políticas industriales de desarrollo económico. Países como China y Sudáfrica, por ejemplo, han incluido requerimientos significativos en sus programas de energía renovable con el fin de apoyar el desarrollo de la industria nacional. Por ejemplo, Arabia Saudita anunció que desarrollará una capacidad de 54 GW de energía renovable para el año 2030 con el fin de

reducir el consumo de petróleo y a la vez reposicionar su economía para exportar tecnologías de energía renovable [3].

En Colombia se han realizado diferentes proyectos de sostenibilidad eléctrica y de biogás, utilizando tecnologías renovables para su desarrollo. En el centro de Bogotá la fundación centro experimental las Gaviotas, ubicada en la avenida circunvalar, ha realizado diferentes proyectos aplicando las tecnologías renovables en busca de la sostenibilidad en viviendas.

La propuesta de Gaviotas, en materia de aprovechamiento de la energía buscando la descentralización energética descarbonizada, apunta a que cada localidad o región intente, antes de conectarse a la red central, la búsqueda y utilización de fuentes renovables de su entorno inmediato. Incluso llegando a pensar que en un futuro se genere la energía residencial, aprovechando el área cubierta de su vivienda, lo cual se facilita, por estar en el trópico permitiendo el diseño y construcción de variados tipos de viviendas bioclimáticas y demás instalaciones comunitarias. Cabe destacar el diseño y construcción del hospital bioclimático y autosuficiente energéticamente del Centro Las Gaviotas en donde todos los elementos tienen su razón estética, tecnológica climática y funcional al mismo tiempo. [4]

En el piedemonte llanero se encuentra otro ejemplo de vida sostenible, eléctrica y de biogas, la finca La Cosmopolitana es otro proyecto colombiano que ha trabajado por la sostenibilidad ambiental de una vivienda. En la Cosmopolitana los principios que rigen para la agricultura, la economía y la salud, son los mismos para la construcción. Es decir, parten del uso apropiado de los recursos propios, como la madera, las palmas, la piedra y el barro e incluso el material de reciclaje, como llantas, las botellas plásticas y el vidrio. Si no hay, entonces se cultivan la guadua, la madera y las palmas.[5]

Por otro lado, las construcciones cuentan con unos criterios mínimos de sostenibilidad ambiental, social y cultural. Tienen que ver con el sol, el ahorro energético, el uso racional del agua y de energías renovables. Por lo demás, las construcciones son abiertas, con puertas, ventanas y espacios amplios para que entre la luz y la frescura. Proyectos energéticos, tecnologías apropiadas, representadas en biodigestores, secador solar, Rueda Pelton, trapiche, paneles solares y estufas gasificadoras. [5]

Para poder abastecer la demanda de energía eléctrica que requirió la vivienda, se implementó un sistema de energías renovables y de biogás. A partir de una revisión realizada en la página del BID, (Banco Interamericano de Desarrollo), se pudo observar en la matriz energética Colombiana que la generación de energía eléctrica por medio de fuentes renovables ha incrementado muy poco con respecto a las otras fuentes de generación eléctrica como las mencionadas anteriormente, debido a que está se centra principalmente en la generación de energía por Hidroeléctricas, Gas, Carbón y derivados del petróleo como se puede observar en la Figura 1; lo que implica que es necesario fomentar mayores estudios e implementación de las energías renovables en el país [6].

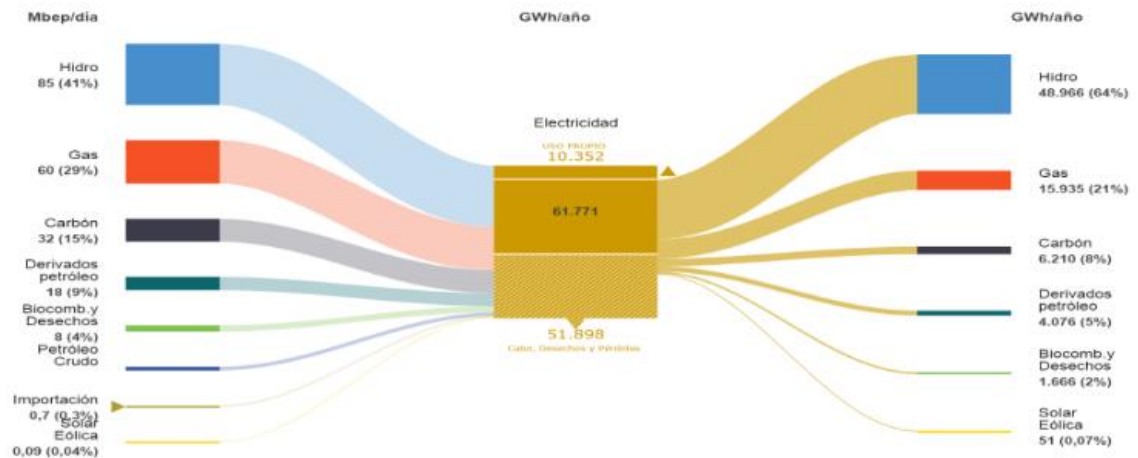


Imagen 1 Matriz Eléctrica Colombiana Año 2016
 Autor: Banco Interamericano de Desarrollo [6]

Este proyecto buscó implementar un sistema de generación renovable de energía eléctrica en una vivienda de la zona rural del municipio de Zipaquirá que aunque está interconectada a la red nacional, presenta problemas porque el fluido eléctrico no es continuo.

Para finalizar, se dimensionó y construyó un biodigestor anaerobio con los residuos orgánicos que producía la vivienda, en los que se destacaban residuos domiciliarios, purines y residuos de poda. Se utilizaron dos inóculos para la degradación de la materia orgánica; uno preparado con lacto-bacterias, levadura, alcohol y azúcar y el otro fue suministrado por la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Postobón del proceso anaerobio. Para reducir las pérdidas de calor de los residuos orgánicos del biodigestor, éste se ubicó dentro de una cabaña tipo invernadero dispuesta con aislantes térmicos.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Implementar energías renovables a escala piloto para abastecimiento eléctrico con un sistema híbrido eólico-solar y de biogás de acuerdo a las necesidades básicas de una vivienda rural ubicada en el municipio de Zipaquirá.

1.2 Objetivos Específicos

- Determinar el requerimiento de energía eléctrica y capacidad de generación de biogás con base en la disponibilidad de residuos.
- Dimensionar el sistema híbrido eólico-solar para abastecimiento de energía eléctrica y el biodigestor para producción de biogás con base en el requerimiento energético que se suplirá en la vivienda.
- Evaluar el procedimiento de reutilización de baterías de ácido para su aprovechamiento en el sistema híbrido de generación de energía eléctrica.
- Implementar el sistema híbrido eólico-solar para abastecimiento de energía eléctrica y el biodigestor para producción de biogás en la vivienda.
- Analizar y evaluar económicamente el proyecto.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Contexto de las Energías Renovables

Actualmente, las energías renovables equivalen a casi el 10% de la generación mundial de energía, donde el porcentaje restante de la generación en el mundo proviene en gran parte y con un 65% la generación de energía a partir de los combustibles fósiles como el (petróleo, carbón y gas), el porcentaje restante es compartido con la generación a través de hidroeléctricas y energía nuclear en un menor porcentaje. Aunque el aumento del consumo de energía en el mundo debido al crecimiento poblacional no puede ser inmediatamente contrarrestado, sí puede mejorarse parcialmente la sostenibilidad dando mayor participación en el mix energético a las energías renovables [7].

Las fuerzas principales en este proceso son las políticas energéticas nacionales e internacionales, y la industria de la energía. Países como China, Alemania, España y Estados Unidos, son considerados como los países pioneros en la adaptación de diferentes fuentes de energía en su matriz como también en el desarrollo de las mayores capacidades instaladas en tecnologías para el aprovechamiento de la energía hidráulica, eólica, solar, geotérmica y de biomasa, como fuentes de origen renovable que hacen su aporte en el proceso de transición planteado en lo que a la generación de energía eléctrica se refiere. [8]

2.2 Las Energías Renovables en Colombia

Colombia como país en desarrollo, ha venido implementando diferentes formas de generación de energía eléctrica, donde centró su matriz energética en grandes plantas hidroeléctricas, donde se buscó explotar al máximo el recurso hídrico nacional sin pensar en los impactos ambientales que estos megaproyectos conllevan en el paisaje, dinámica hídrica y las condiciones del terreno, otras importantes plantas de generación son las termoeléctricas, aunque en menor proporción estas solo son puestas en funcionamiento en dado caso que se tenga un desabastecimiento de agua en las zonas de influencia de hidroeléctricas.

Las áreas del país que no reciben servicio de energía eléctrica a través del Sistema Interconectado Nacional, denominadas Zonas No Interconectadas cubren el 4% de la población del país y un área geográfica del 66% del territorio. Según datos del Instituto Colombiano de Energía Eléctrica, a mayo de 1999, las ZNI contaban con el 50.3% de la capacidad requerida, la mayoría basada en plantas térmicas de combustible, actividad que genera bastante impacto en el ambiente y que perjudican la calidad ambiental del lugar, como las condiciones climáticas del lugar [8].

Colombia es un país que goza de una matriz energética relativamente rica tanto en combustibles fósiles como en recursos renovables. Actualmente, la explotación y producción energética del país está constituida a grandes rasgos en un 93% de recursos primarios de origen fósil, aproximadamente un 4% de hidroenergía y un 3% de biomasa y residuos. Si bien el país cuenta con gran

variedad de recursos, las energías renovables deben aprovecharse de forma práctica, teniendo en cuenta el impacto al ambiente, para el bien de la sociedad y su entorno [8].

Las energías renovables han tomado una gran importancia en la generación de energía a nivel mundial, debido a que esta ha ayudado a suplir el consumo de energía con métodos y tecnologías más limpias que se favorecen de los recursos naturales renovables del lugar, para suplir una necesidad colectiva que beneficie o ya sea una vivienda o por qué no a una mayor escala una población o un municipio. En Colombia al ser un país ubicado en el trópico tiene el privilegio de poder contar con gran variedad de recursos y una alta capacidad de poder instalar proyectos a gran escala de energía renovable donde se aprovechen estos recursos, como: corrientes de viento, radiación solar, calor interno de la tierra, movimiento del agua en ríos y mar, poder calorífico de los desechos orgánicos, entre otros, por medio de diferentes tipos de tecnologías se pueden convertir en energía térmica y/o eléctrica las cuales pueden llegar a suplir los métodos actuales de obtención con un menor efecto contaminante [9].

2.3 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar Fotovoltaica se basa en el principio del efecto fotovoltaico, que consiste en la transformación de la radiación solar, en energía eléctrica, esto se da debido a la fuerza electromotriz que ejerce un material semiconductor en este caso las celdas fotoeléctricas que son hechas con silicio, este material se encarga de absorber la radiación emitida por el sol y los fotones se transfieren a los electrones semiconductores. [10]

La energía Solar Fotovoltaica es una tecnología que genera corriente continua por medio de semiconductores cuando estos son iluminados por un haz de fotones. Mientras la luz incide sobre una célula solar, se genera potencia eléctrica; cuando la luz se extingue, la electricidad desaparece. Las células solares no necesitan ser cargadas como las baterías. Algunas células solares vienen manteniéndose en operación terrestre o en el espacio desde hace 30 años. [11]

Este tipo de energía renovable presenta ventajas e inconvenientes tanto técnicas como no técnicas. A menudo, las ventajas y desventajas son diametralmente opuestas a las de las centrales convencionales. Por ejemplo, las plantas de combustibles fósiles provocan emisiones peligrosas para el ambiente, usan una fuente limitada, su coste tiende a crecer y no son modulares, es decir, no se pueden hacer plantas pequeñas, a diferencia de la energía solar fotovoltaica esta no tiene estos inconvenientes por el contrario tiene la desventaja de su difícil almacenamiento. [11]

Este tipo de energía es utilizada para alimentar innumerables aparatos electrónicos, como también para abastecer refugios o casas aisladas y para producir electricidad a gran escala para redes de distribución. Debido a la creciente demanda de energía renovable, la fabricación e instalación de plantas

solares ha avanzado considerablemente en los últimos años. Los rendimientos típicos de una célula fotovoltaica de silicio policristalino oscilan entre el 14-20 %. Para células de silicio monocristalino, los valores oscilan entre los 15-21%. Las celdas monocristalinas más altas se consiguen con los colectores solares térmicos a baja temperatura, que estos pueden alcanzar hasta un 70% de rendimiento en la transferencia de energía solar a térmica, es por eso que los paneles monocristalinos tienen una mayor eficiencia en zonas de baja altura y de clima frío.[12]

Los sistemas fotoeléctricos son compuestos por 4 componentes esenciales como primer componente encontramos los paneles solares, que son los encargados de absorber la radiación y transformarla a energía eléctrica, como segundo se encuentra el controlador que se encarga de regular o controlar el voltaje deseado para la instalación según las necesidades, luego se encuentra las baterías encargadas del almacenamiento de la planta para que no se sobrecargue el sistema y por último se encuentra el inversor que se encarga de cambiar la corriente de DC a AC, para que el sistema pueda ser conectado en cualquier instalación que requiera de este tipo de corriente. [12]

2.4 Energía Eólica

La energía eólica hace referencia a aquellas tecnologías y aplicaciones en que se aprovecha la energía cinética del viento, convirtiéndola a energía eléctrica o mecánica. Se pueden distinguir dos tipos de aplicaciones: las instalaciones para la producción de electricidad y las instalaciones de bombeo de agua. Entre las instalaciones de producción de electricidad se pueden distinguir instalaciones aisladas, no conectadas a la red eléctrica e instalaciones conectadas, normalmente, denominadas parques eólicos. Las instalaciones no conectadas a la red normalmente cubren aplicaciones de pequeña potencia, principalmente de electrificación rural. Las aplicaciones conectadas a la red eléctrica, por otra parte, son las que permiten obtener un aprovechamiento energético mayor, son además las que presentan las mejores expectativas de crecimiento de mercado. [13]

Aproximadamente el 2% de la energía que llega del sol se transforma en energía cinética de los vientos atmosféricos. El 35% de esta energía se disipa en la capa atmosférica a tan solo un kilómetro por encima del suelo. Del resto se estima que por su aleatoriedad y dispersión solo podría ser utilizada 1/13 parte, cantidad que hubiera sido suficiente para abastecer 10 veces el consumo de energía primaria mundial del año 2002 (10.000 Mtep), de ahí su enorme potencial e interés. La masa de aire en movimiento es energía cinética que puede ser transformada en energía eléctrica. Al incidir el viento sobre las palas de una aeroturbina se produce un trabajo mecánico de rotación que mueve a su vez un generador para producir electricidad. La cantidad de energía que contiene el viento antes de pasar por un rotor en movimiento depende de tres parámetros: la velocidad del viento incidente, la densidad del aire y el área barrida por el rotor. [14]

La energía contenida en el viento puede ser transformada, según sea la necesidad, en energía eléctrica, mecánica o térmica. Las posibilidades de uso que ofrece la energía eléctrica son bien conocidas. En cuanto a la mecánica, en el caso que nos ocupa, se utiliza el bombeo de agua o molienda de distintos productos. La energía térmica se consigue a partir de la energía mecánica. Para efectuar esa transformación se utilizan distintos tipos de equipamientos. En términos generales no se requieren grandes velocidades de viento para producir energía, más bien al contrario, cuando el viento es demasiado intenso se hace necesario detener los equipos para evitar deterioro. En la mayoría de los casos, un equipo comienza a generar energía con una velocidad del viento de 4 metros por segundo (m/s), equivalente a unos 15 km/h. Entrega su potencia máxima cuando la velocidad es del orden de los 12 a 15m/s (40 a 55 km/h) y es necesario sacarla de servicio cuando alcanza 25m/s (90km/h). [13]

2.5 Digestión Anaerobia

Un Biodigestor es un sistema natural o reactor que aprovecha la digestión anaerobia en (ausencia de oxígeno), de sustratos orgánicos para transformarlos en biogás y CO₂ y algunos fertilizantes, la digestión anaerobia es un proceso complejo donde las bacterias se encargan de descomponer los compuestos orgánicos en 4 etapas distintas como la hidrólisis, acidogénesis acetogénesis y metanogénesis, en la digestión anaeróbica, los microorganismos metanogénicos desempeñan la función de enzimas respiratorios y, junto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas [15].

El biodigestor es un recinto cerrado donde se producen reacciones anaeróbicas (sin aire) en el que se degrada la materia orgánica disuelta en un medio acuoso, para dar como resultado metano y dióxido de carbono, trazas de hidrógeno y sulfídrico, estos microorganismos, protozoarios hongos y bacterias que están en el interior deben ser cultivadas, por tanto no vamos a obtener el biogás inmediatamente, tendremos que esperar que lo empiecen a producir, esto tarda unos 15 días más o menos, esta producción se verá afectada por la temperatura exterior, por tanto si se quiere que el biodigestor produzca biogás constante se debe enterrarse para que la temperatura se mantenga en unos 18 grados Celsius, no es lo mejor pero durante el invierno tendremos buena producción. Este proceso de biodigestión se da porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos en los excrementos que al actuar en el material orgánico produce una mezcla de gases (con alto contenido de metano) al cual se le llama biogás. [16]

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un sustrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (e.g. H₂ O₂). Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad

de residuos, residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico. [17]

La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea. Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas:

- **Hidrólisis**

La materia orgánica polimérica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles, que puedan atravesar la pared celular. La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por tanto, es el proceso de hidrólisis el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. La hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos. [17]

- **Etapas fermentativa o acidogénica**

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H_2) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema. Este grupo de microorganismos se compone de bacterias facultativas y anaeróbicas obligadas, colectivamente denominadas bacterias formadoras de ácidos. [17]

- **Etapas acetogénica**

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H_2 y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato (CH_3COO^-) e hidrógeno (H_2), a través de las bacterias acetogénicas. Representantes de los microorganismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*. [17]

- **Etapas metanogénica**

En esta etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas estrictas actúa sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de biometanización. Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H_2 / CO_2 , formato, metanol y algunas metilaminas.[17]

Tiempo de retención.

El tiempo de retención es la duración del proceso de digestión anaerobia; es el tiempo que requieren las bacterias para digerir el lodo y producir biogás. Este tiempo, por tanto, dependerá de la temperatura de la región donde se vaya a instalar el biodigestor. Así, a menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención que será necesario para que las bacterias, que tendrán menor actividad, tengan tiempo de digerir el lodo y de producir biogás [16]. Por consiguiente, se consideró un sistema de enchaquetamiento tipo invernadero con aislante yumbolón de color negro para mantener temperaturas más altas en el biodigestor.

Tabla 1. Tiempo de retención según temperatura

Región característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	15
Valle	20	25
Altiplano	10	60

Fuente; Botero, R. (2019). Biodigestores Familiares [16]

En la siguiente tabla se muestra la producción de estiércol fresco diario para diferentes animales, por cada 100 kilogramos de peso del animal.

Tabla 2. Producción de estiércol fresco diario

Ganado	Kg de estiércol fresco producido por cada 100 kg de peso del animal
Cerdo	4
Bovino	7
Caprino	4
Conejos	3
Equino	7
Humano adulto	0,4 kg por adulto
Humano niño	0,2 kg por niño

Fuente; Botero, R. (2019). Biodigestores Familiares [16]

3. Metodología

La metodología constó de las siguientes etapas para el desarrollo del proyecto.

A continuación, en el siguiente diagrama se muestran las diferentes etapas que se llevarán a cabo para la realización del proyecto

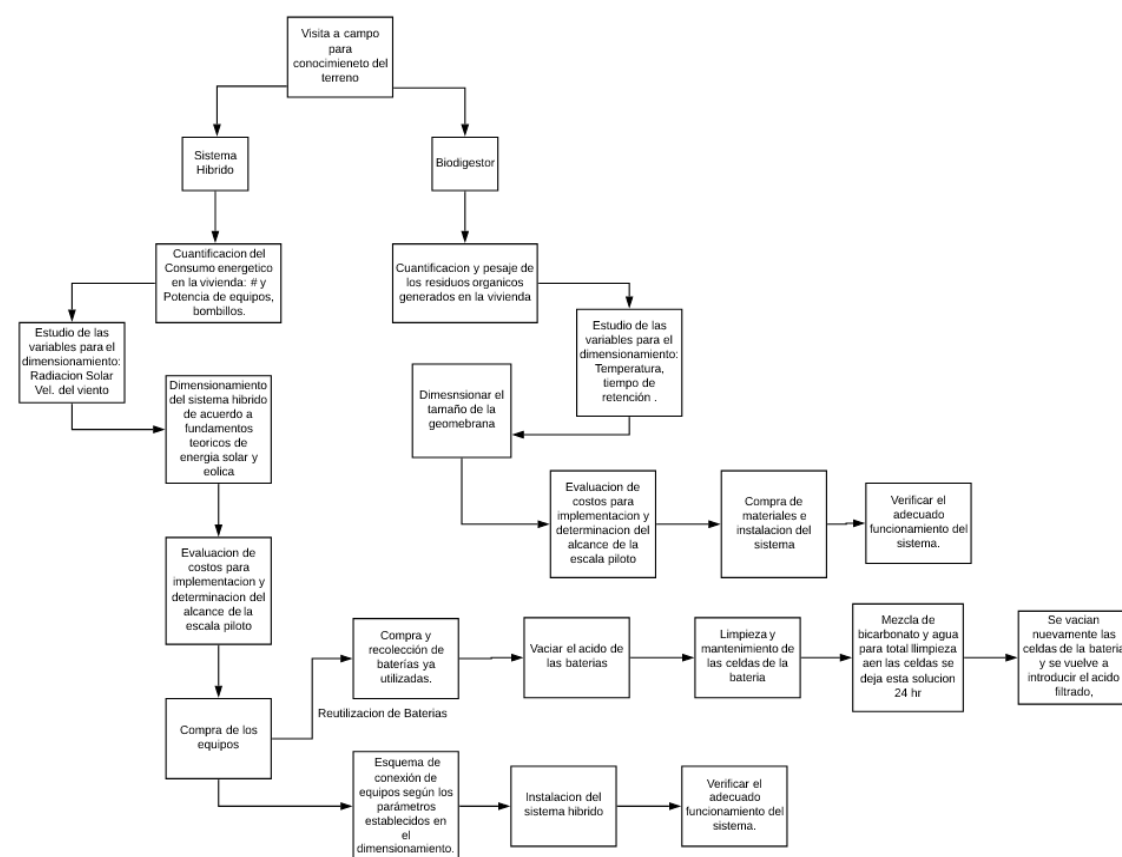


Imagen 2 Esquema de Metodología Fuente Autores

3.1 Evaluar la demanda de energía en la vivienda,

Como primer paso se evaluó la demanda de energía que se suministró a la vivienda, para ello se llevó a cabo una visita de campo en el municipio de Zipaquirá; a partir de información de los habitantes de la vivienda y tomando las evidencias necesarias como los consumos diarios de una persona, consumo de energía por cada electrodoméstico, como también la cantidad de residuos orgánicos que se generan, se obtuvo la base de datos requerida para el dimensionamiento del sistema; se tuvieron en cuenta datos de consumo eléctrico y horas de uso diario de cada uno de los electrodomésticos a suplir; también se consideró la cantidad de biogás necesaria para las necesidades básicas de la vivienda.

3.2 Dimensionamiento del Sistema Híbrido

Con los datos obtenidos de la visita de campo y con base en el presupuesto, se realizó el dimensionamiento del sistema híbrido de acuerdo a fundamentos de energía solar y de aerogeneradores; la determinación de la capacidad de panel, controlador, baterías, inversor y calibre de cable se muestra a continuación:

- a. Con base en la radiación pico o menor del lugar y en la energía eléctrica requerida por la vivienda y el presupuesto, se estableció la energía diaria suministrada por un panel solar seleccionado de 315W de potencia, como se muestra en la ecuación 1, cabe resaltar que las ecuaciones y dimensionamiento del sistema híbrido se llevó a cabo a partir de la metodología aprendida en el curso de energía solar fotovoltaica (2018) brindado por CEMAER (Centro de Estudios en Medio Ambiente y Energías Renovables) y que fue dictado en la materia Eficiencia Energética.
- b. La información sobre la radiación se obtuvo de los mapas de radiación plana en donde se observó que el valor de la radiación oscilaba entre tres rangos diferentes, en donde predominaba el rango de (4 - 4,5) kWh/m², donde el mes más desfavorable era el mes de abril, de resto se observó que la zona entraba en algunos meses en los rangos de (4,5 – 5) kWh/m² y (5 – 5,5) kWh/m², pero se decidió tomar el menor valor que fue de 4 kWh/m².

$$\frac{\text{Energía Panel 315W}}{\text{día}} = \frac{\text{Energía del Panel}}{\frac{\text{KWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{día}} \text{ de Radiación}} * \text{Radiación Solar} \frac{\text{KWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{día}} * \text{Eficiencia Panel} \quad (1)$$

- c. Paralelamente, se calculó la potencia y energía suministrada por el aerogenerador al sistema híbrido, como se muestra en las ecuaciones 2 y 3 respectivamente.

$$\text{Potencia Aerogenerador} = \frac{1}{2} \text{Densidad aire} * \text{Área barrido} * \text{Velocidad}^3 * F * \mu \quad (2)$$

μ : eficiencia energética del aerogenerador

F : Factor de Rayleigh

$$\text{Energía Aerogenerador} = \frac{\text{Potencia Aerogenerador}}{\text{día}} * h \quad (3)$$

- d. Enseguida, se calculó la capacidad de las baterías requerida para cada sistema, con base en la ecuación 4.

$$\text{Capacidad Baterías} = \frac{\text{Energía suministrada al sistema en WH}}{\text{Voltaje de las baterías}} \quad (4)$$

- e. Se calculó el número de baterías que va a necesitar cada uno de los sistemas de generación con la ecuación 5.

$$No. Baterías = \frac{Capacidad\ Baterías}{Ah\ de\ una\ batería} * 1,3 \quad (5)$$

- f. Mediante las ecuaciones 6 y 7 se determinó la capacidad necesaria del controlador para el sistema híbrido, que corresponde a la suma de la capacidad del controlador requerido para el sistema solar más la del sistema eólico.

$$Controlador\ panel = \frac{No.paneles*Potencia\ de\ un\ panel\ en\ W}{V\ Baterías} \quad (6)$$

$$Controlador\ aerogenerador = \frac{No.aerogen*Potencia\ aerogenerador\ W}{V\ Baterías} \quad (7)$$

- g. Por último, se halló el inversor para el sistema híbrido con la ecuación 8.

$$Inversor\ sistema\ híbrido = \frac{V\ Baterías*Capacidad\ Baterías\ sistema\ híbrido*1,3}{2} \quad (8)$$

3.2.1 Inclinación y Orientación

La inclinación y orientación de los paneles son fundamentales para la eficiencia del sistema fotovoltaico, utilizando los datos de latitud y longitud del terreno, su radiación promedio y el hemisferio en que se encuentra se pueden hallar los datos de inclinación y orientación. Para la orientación, se debe tener en cuenta el hemisferio en que se encuentra la cabaña; en este caso la vivienda rural se encuentra ubicada en la vereda El Alto del Águila a 5 grados de latitud norte, por lo que el panel se debe orientar 5 grados hacia el sur para recibir de forma más paralela los rayos solares compensando su inclinación respecto a la línea del Ecuador.

3.2.2 Módulo de instalación

Diagrama de circuito del sistema fotovoltaico que dependiendo del número de paneles y baterías se decide si las conexiones son en paralelo o en serie.

3.2.3 Generador eólico:

Para el dimensionamiento del aerogenerador se tuvo como fundamento la velocidad del viento en la zona de estudio, para calcular la potencia eólica

disponible correspondiente a la energía cinética obtenida por el giro de las aspas. Se seleccionó un modelo que no tenga aspas largas para evitar la afectación a las aves, generada por el giro a elevada velocidad de estas. A partir de la velocidad del viento del lugar y de la potencia producida se determinó el porcentaje de energía requerida que se puede obtener del sistema eólico, y con base en la radiación solar del lugar, se determinó el porcentaje de energía que puede obtenerse con el sistema. Se tuvo en cuenta que el sistema eólico genera día y noche, mientras que el solar solamente durante unas horas diurnas.

3.2.4 Dimensionamiento Reactor Anaerobio

El dimensionamiento del biodigestor anaerobio casero dependió de los datos recopilados de generación y caracterización de materia orgánica doméstica y animal de corral. Se tuvieron en cuenta las composiciones de cada residuo si eran producto de desechos de animales, de poda, residuos de comida, como también las bacterias presentes en el inóculo. Las condiciones climatológicas del terreno también son variables importantes para la eficiencia del biodigestor, debido a que la actividad microbiana requiere de una temperatura estable para una mejor degradación de la materia orgánica, como también del inóculo presente, debido que este nos ayudara a degradar mucho más rápido nuestra materia orgánica.

3.2.5 Conceptos en el dimensionamiento de un biodigestor familiar: Conociendo el volumen total del biodigestor se determinó las dimensiones de este. Lo primero a determinar es el volumen del Bidón, cantidad y tipo de residuos de la vivienda, el sistema de alimento de residuos orgánicos al reactor y el sistema de almacenamiento del biogás. [18].

3.2.6 Tipos de Bidones

A la hora de escoger un bidón para construir el biodigestor se tuvieron algunas variables en cuenta, entre ellas el volumen, hermeticidad y tipo de tapa.

El volumen dependió de la cantidad de materia orgánica que genera la vivienda rural; como son pocas personas los residuos orgánicos fueron relativamente bajos, por eso se escoge un bidón de un tamaño de 60 Litros. La hermeticidad y tipo de tapa son factores importantes para la actividad microbiana debido que estas ayudaran a que no se filtre Oxígeno al sistema y las bacterias no puedan realizar su metabolismo adecuadamente, por eso debe buscarse un bidón con una buena tapa con banda hermética y con profundidad; o sea que entre más esté alejada la tapa de la parte superior del bidón asegura que el biodigestor no tenga fugas por la presión que ejerza el gas en la tapa. Existen varios tipos de bidones en el mercado que se pueden utilizar ver imagen 2.



Imagen 2 Bidón con cierre de guaya. Fuente: Autores

Este tipo de bidón tiene cierre con empaque hermético en el interior de la tapa y un cierre superficial con guaya que no lo hace el más seguro a pesar de tener el empaque hermético. Sería la opción dos en el análisis de los tres bidones.



Imagen 3 Bidón con cierre hermético y aro de metal. Fuente: Autores.

Este bidón es de empaque hermético en el interior de la tapa y con un cierre superficial con aro de metal a una buena distancia de la superficie del bidón, garantizando la hermeticidad. Este bidón es la primera opción en el análisis de los tres tipos de bidones.



Imagen 4 Bidón de cierre aro metálico. Fuente: Autores.

Este tipo de bidón no tiene empaque hermético en el interior de la tapa, tiene solo un cierre superficial de metal; es muy vulnerable a que altas presiones produzcan fugas del biogás, por eso es el bidón que menos se recomienda y la última opción en este análisis.

3.2.7 Para poder acelerar el proceso se buscó inocular los residuos orgánicos utilizados en el biodigestor, buscando incrementar la generación de biogás.

3.3. Implementación del Sistema

Para la implementación del sistema híbrido eólico-solar fotovoltaico en la cabaña fue necesario tener en cuenta:

- a. Conocimiento del terreno.
- b. Demanda de energía requerida en la granja.
- c. Dimensionamiento del sistema de generación híbrido eólico-solar fotovoltaico.
- d. Compra y recolección de los equipos en el sistema de generación híbrido eólico-solar fotovoltaico.
- e. Esquema de conexión de equipos según los parámetros establecidos en el dimensionamiento.
- f. Montaje del sistema híbrido eólico-solar fotovoltaico a escala.
- g. Verificar el adecuado funcionamiento del sistema.

3.4. Regeneración de Baterías

Procedimiento para la recuperación de baterías 12V de ácido ya utilizadas para su aprovechamiento e implementación en el sistema:

- a. Compra y recolección de baterías ya utilizadas.
- b. Abrir las baterías para la limpieza y mantenimiento de las celdas, vaciar completamente la batería para limpieza del ácido por filtración en papel filtro.

- c. Luego se prepara una solución con agua destilada y bicarbonato de sodio para realizar la limpieza total de la batería repetidas veces dejando actuar la solución durante varias horas. Con un embudo se introduce esta solución en la batería hasta que todas las celdas queden llenas en cada lavado.
- d. Se vacían nuevamente las celdas de la batería y se introduce el ácido filtrado. Se recarga la batería durante 24 horas aproximadamente. De esta manera se recupera vida útil de la batería.

3.5 Valoración Económica

Por último, se realizó una valoración económica donde se evaluaron diferentes aspectos y beneficios del proyecto, como la tasa interna de retorno, VPN el ahorro por pagos de recibos de energía y gas, y viabilidad en la implantación del proyecto.

4. Resultados

4.1 CÁLCULO DE LA ENERGÍA REQUERIDA POR LA VIVIENDA

Para el dimensionamiento del sistema híbrido como primer paso se estimó el consumo total de energía que se tiene en la vivienda, teniendo en cuenta todos los electrodomésticos como nevera, ducha eléctrica, bombillos y demás, también la regularidad de cambio de la pipeta de gas y el volumen de la misma. Se recomendó en la vivienda que para disminuir considerablemente el consumo total se debería cambiar las bombillas convencionales a bombillas led. A continuación, en la **Tabla 3** se indican los equipos, potencia y el tiempo de uso de cada uno de ellos.

Tabla 3 Consumo de Equipos **Fuente:** Autores

TABLA DE CONSUMO DE EQUIPOS			
Equipos	Potencia (W)	Tiempo de uso (h)	Consumo (WH)
Televisor Samsung	35	2	70
Televisor Sony	140	1	140
Bombillos led x 10	70	2	140
Nevera	207	6	1242
Licuada	450	0,1	45
Lavadora	920	0,29	266,8
Ducha Eléctrica	4000	0,17	680
Carga Celular	15	4	60
TOTAL			2643,8 WH

Como se evidencia en la tabla 3, la casa cuenta con 7 electrodomésticos, dos televisores uno antiguo ver Imagen 5 y uno moderno ver imagen 6, donde se puede observar la diferencia de consumo de éstos, el televisor antiguo (Sony) consume aproximadamente 5 veces más que el otro televisor; se recomendó también en la vivienda en un futuro poder cambiar el televisor con más potencia y consumo, así este tenga poco tiempo de uso, pues puede reducir también el consumo total de la vivienda y también poder darle una mejor eficiencia al sistema. A continuación, se muestran evidencias fotográficas de los equipos tomadas en la vivienda con sus respectivos valores de potencia y consumo; la unidad de tiempo que se tomó para el dimensionamiento del sistema es hora (h) como lo indica la **Tabla 3** debido a que facilita el dimensionamiento.



Imagen 5 Televisor Samsung Fuente: Autores



Imagen 6 Información del Tv Fuente: Autores

Los integrantes de la casa indican el tiempo estimado de uso de cada equipo, cabe aclarar que quien habita la casa es son dos personas de la tercera edad. Como se observa en la **Tabla 3** los equipos que tienen motor son los de mayor potencia de consumo, aunque algunos de ellos tienen bajo tiempo de uso como la licuadora y la lavadora.



Imagen 7 Nevera Fuente: Autores



Imagen 8 Información del motor de la Nevera



Imagen 9 Bombilla Incandescente Fuente: Autores



Imagen 10 Bombilla Led Fuente: Autores

La casa también cuenta con una licuadora ver Imagen 11 , con un consumo muy bajo debido a que es muy poco el uso que se le da a este electrodoméstico, también cuenta con una ducha eléctrica ver Imagen 12 , donde se observó que ésta es la que más consumo tiene de todos los electrodomésticos ya que tiene un consumo diario por parte de los habitantes de la vivienda y su tiempo de uso es muy variado por lo que se estimó un tiempo promedio para este equipo; la lavadora ver Imagen 13, tiene un consumo alto; normalmente, en la vivienda se realiza el lavado de la ropa el día miércoles de cada semana, por lo que el tiempo de uso se estimó solamente a un día.



Imagen 11 Especificaciones Licuadora Fuente: Autores



Imagen 12 Especificaciones Ducha Eléctrica



Imagen 13 Lavadora Fuente: Autores

También se realizó una visita para revisar el estado del tejado de la vivienda para verificar si las tejas existentes en la casa pueden soportar el peso del panel solar y del aerogenerador, como se pueden observar en la Imagen 14,



Imagen 14 Tejado de la Vivienda Fuente: Autores

Se observó que este es un tejado antiguo y que podría tener afectaciones en el momento del montaje de los equipos, pero se realizó una prueba de resistencia con un peso parecido al del panel y del aerogenerador para poder establecer si es posible la instalación, debido que este es un punto importante tanto la estabilidad del sistema como la eficiencia de este, se estableció que el tejado si resistirá el peso de los dos equipos para la implementación.

4.2 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA HÍBRIDO

Luego de estimar la energía requerida que se va a abastecer al sistema, se busca en la bibliografía las variables meteorológicas necesarias para la implementación de un sistema híbrido de energía renovable (Radiación Solar y Velocidad del Viento); estos datos fueron obtenidos de estudios y datos brindados por las entidades encargadas de este tipo de información como el Ideam y el UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética). La radiación solar se estimó a través de los **“Mapas de Radiación Solar Global Sobre una Superficie Plana”**, Se buscó la radiación solar por cada mes en un punto cercano para poder estimar si se tiene un comportamiento similar durante todo el año en la región de esta variable, se pudo definir que su comportamiento era casi parecido ya que esta zona se encuentra en tres rangos distintos pero con valores muy cercanos, y que se podría utilizar el mapa de radiación de comportamiento multianual como se observa en la Imagen 15, para nuestro proyecto.

Se estimó que el valor para la radiación en este punto oscilaba entre los rangos de (4 – 4,5 KWh/ m²), (4,5 – 5 KWh/ m²) y (5 – 5,5 KWh/ m²), donde el mes más desfavorable era el mes de abril pero que al igual este entra entre los valores de estos tres rangos, se decidió tomar el valor más pequeño del intervalo de (4 – 4,5 KWh/ m²), para poder tener un menor margen de error en el momento del dimensionamiento.

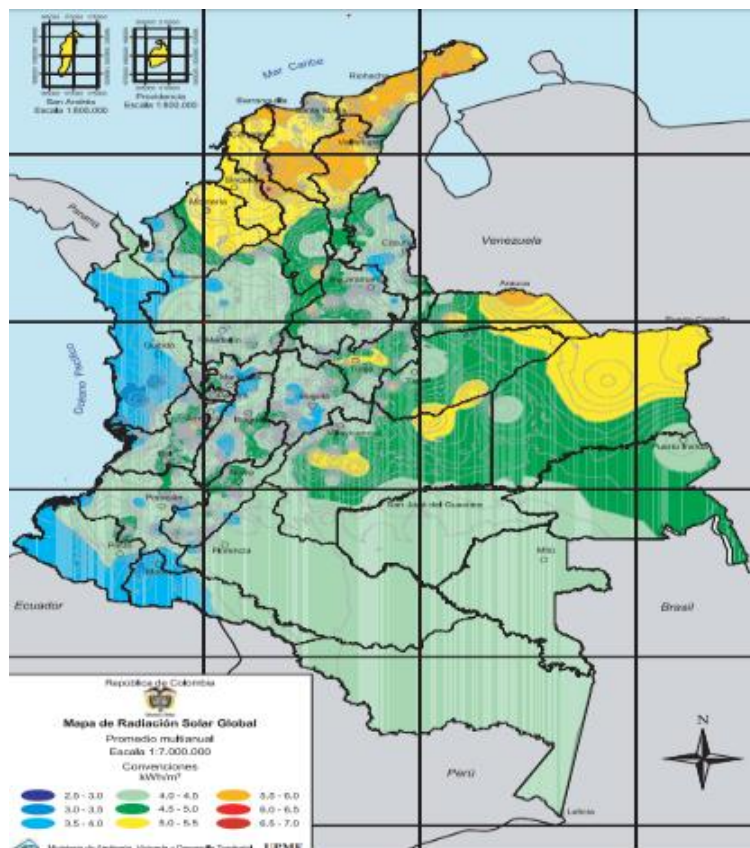


Imagen 15 Mapa de Radiación Solar Multianual Fuente: UPME

Luego de calcular la energía requerida para el dimensionamiento del sistema se calculó el porcentaje que tendrá cada sistema en la energía requerida total: nos basamos en esto de acuerdo con el presupuesto y el panel más económico y de calidad en el mercado; se encontró un panel de 315 W marca QCELLS monocristalino Ficha técnica Ver Anexo F; con este valor se procedió a realizar el dimensionamiento del sistema de energía solar para nuestro proyecto, como se puede observar en la ecuación 1 la energía que se suplirá con el panel es de 1197 KWh/día y la inclinación que se tomó.

La inclinación y orientación de los paneles son fundamentales para la eficiencia del sistema fotovoltaico, utilizando los datos de latitud y longitud del terreno, su radiación promedio y el hemisferio en que se encuentra se pueden hallar los datos de inclinación y orientación. Para la orientación, se debe tener en cuenta el hemisferio en que se encuentra la cabaña; en este caso la vivienda rural se encuentra ubicada en la vereda El Alto del Águila a 5 grados de latitud norte, por lo que el panel se debe orientar 5 grados hacia el sur para recibir de forma más paralela los rayos solares compensando su inclinación respecto a la línea del Ecuador.

Para el sistema eólico se construyó un aerogenerador casero de 67 cm de diámetro de giro. La velocidad promedio del viento en la zona es de 7 m/s, según los datos tomados por un velocímetro brindado por la universidad que no pudieron dar con exactitud los valores reales Ver Anexo E, y de revisión de los datos suministrados por las entidades encargadas en la bibliografía.

Como primer paso se calculó la energía total que se va a suministrar al sistema híbrido, se tiene en cuenta que el panel genera energía durante el día con las horas pico de radiación, es por eso que se busca que esta pueda satisfacer la demanda de energía que se necesita; para ello se utilizó la ecuación 1. Se multiplicó por un factor de 0,95 que es la eficiencia que suministró el proveedor del panel, para saber con exactitud cuánto se podría llegar a generar con una radiación de 4 KW/m²; se tomó este valor debido a que se estima con el valor más bajo para no sobredimensionar el sistema y que puedan haber fallas en el mismo, para el sistema eólico se tiene en cuenta la ecuación 2 para saber la potencia que se generó con el aerogenerador construido y la ecuación 3 para saber cuánta energía nos va a suministrar al sistema híbrido se escogió un tiempo de generación de energía de 18 h debido a las condiciones del terreno y del tiempo donde la velocidad del viento tiene un promedio aceptable para el arranque del aerogenerador

Se escogió un tiempo estimado de 18h debido a que este es un terreno alto y la falda de un páramo, este es el tiempo estimado donde la velocidad del viento es de 7 m/s o superior.

ENERGÍA SUMINISTRADA/DÍA POR EL PANEL:

$$\frac{\text{Energía Obtenida}}{\text{día}} = \frac{315 \text{ WH}}{1 \frac{\text{KWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{día}}} * 4 \frac{\text{KWH}}{\text{m}^2 \cdot \text{día}} * 0,95 = 1.197 \frac{\text{KWh}}{\text{día}} \quad (1)$$

ENERGÍA SUMINISTRADA/DÍA POR EL AEROGENERADOR:

Se tomaron medidas de la velocidad del viento en campo cada hora en el día y en la noche durante 10 días. Se obtuvo una velocidad promedio del viento de 7 m/s. La vivienda rural se encuentra ubicada en una zona elevada y destapada donde se tienen velocidades del viento que permiten aprovechar la energía eólica.

$$Potencia\ Aerogenerador = \frac{1}{2} * 1,225 \frac{Kg}{m^3} * \pi * (0,335\ m)^2 * (7 \frac{m}{seg})^3 * 1,9 * 0,23 = 32,36\ W \quad (2)$$

$$Potencia = \frac{Aerogenerador}{día} = 32,36\ W * \frac{18\ h}{día} = 582\ Wh/día \quad (3)$$

Para obtener la energía total que suministra el sistema híbrido se suman las energías generadas por cada sistema como se muestra en la ecuación 4, obteniéndose $1701 \frac{WH}{día}$; por consiguiente, con base en el presupuesto, la energía requerida por la vivienda y el dimensionamiento del sistema se llegó a satisfacer el 65% de la demanda de la vivienda.

ENERGÍA SUMINISTRADA POR SISTEMA HÍBRIDO:

$$582 \frac{WH}{día} + 1.197 \frac{WH}{día} = 1.701 \frac{WH}{día} \quad (4)$$

Luego de calcular cuánta energía se va a suministrar al sistema híbrido, se calculó la capacidad que deben tener las baterías para el almacenamiento de la energía; cabe recordar que un sistema híbrido va a estar generando energía, siempre y cuando se tengan las condiciones ambientales de radiación solar y velocidad del viento necesarias para la transformación energética, esto permitirá que las baterías no se descarguen tan rápido, debido que estas trabajan con picos altos y bajos y al estar siempre inyectando energía, estos picos van a ser aún más cortos, ayudando así a que estas no sufran carga y descarga constantemente y no tengan que cambiarse con la frecuencia que es de 5 años para la baterías solares y de 4 meses para las baterías regeneradas.

Para dimensionar la capacidad de las baterías es necesario establecer el voltaje requerido que va a tener el sistema, de tal manera que sirvan tanto para el panel solar como para el aerogenerador; se escogió un voltaje de 12V, ya que estas baterías son más comunes y suelen ser más económicas que una batería de 24 V, además de tener menor voltaje que el voltaje de salida del panel y el aerogenerador permitiendo que la energía fluya de éstos a las baterías y no al contrario. La capacidad de las baterías se calculó mediante las ecuaciones 5 y 6.

$$\text{Capacidad Baterías para el Panel} = \frac{1.197 \text{ WH}}{12 \text{ V}} = 99,75 \text{ Ah} \quad (5)$$

$$\text{Capacidad Baterías para Aerogenerador} = \frac{582 \text{ WH}}{12 \text{ V}} = 48,5 \text{ Ah} \quad (6)$$

Como se puede observar, la capacidad de la batería necesaria para el panel solar es de **99,75 Ah** y para el aerogenerador **48,5 Ah**; por consiguiente, se selecciona una batería de **115 Ah** para el sistema solar fotovoltaico y otra de 115 Ah para el sistema eólico. Luego de calcular la capacidad de las baterías, se calculó el número de baterías que requiere el sistema, esto se calcula teniendo en cuenta la capacidad necesaria que tiene el sistema, con el valor convencional de una batería estándar como lo son los 115 Ah mencionados anteriormente, como se puede observar en la ecuación 7, el sistema requerirá de una batería para el panel y una para el aerogenerador; por consiguiente se requieren 2 baterías para poder satisfacer el almacenamiento de la energía del sistema

NÚMERO DE BATERÍAS DE 115 Ah PARA EL PANEL SOLAR:

$$\text{No. Baterías} = \frac{\text{Capacidad Baterías}}{\text{Ah de una batería}} * 1,3 = \frac{99,75 \text{ Ah}}{115 \text{ Ah}} * 1,3 = 1,11 \text{ baterías} = 1 \text{ baterías} \quad (7)$$

NÚMERO DE BATERÍAS DE 115 Ah PARA EL AEROGENERADOR:

$$\text{No. Baterías} = \frac{\text{Capacidad Baterías}}{\text{Ah de una batería}} * 1,3 = \frac{48,5 \text{ Ah}}{115 \text{ Ah}} * 1,3 = 0,55 \text{ baterías} = 1 \text{ baterías} \quad (7)$$

Luego de saber el número de baterías requerido para el sistema, se calculó los Amperios necesarios para el controlador de carga, este equipo ayuda a regular y optimizar el flujo de energía que pasa por el sistema y para el cálculo se tiene en cuenta el número de paneles y aerogenerador y la potencia de cada uno; también es necesario saber el voltaje de salida de las baterías que es de 12V. Como se puede observar en las ecuaciones 8 y 9, la capacidad del controlador de carga en amperios debe ser mínimo de **28,95 Ah** sumando los dos sistemas; para un sistema híbrido es recomendable sobredimensionar para una mayor eficiencia del mismo, es por eso que se escogió un controlador de carga de 30 Ah para la instalación, para que brinde una mayor eficiencia en el mismo.

CONTROLADOR DE CARGA EN Amperios:

$$\text{Controlador panel} = \frac{\text{No.paneles} * \text{Potencia de un panel en W}}{\text{V Baterías}} = \frac{315 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 26,25 \text{ A} \quad (8)$$

$$Controlador\ aerogener = \frac{No.aerogen * Potencia\ aerogenerador\ W}{V\ Baterías} = \frac{32,36\ W}{12\ V} = 2,7\ A \quad (9)$$

Por último, se calculó la capacidad requerida del inversor para el cambio de corriente directa a corriente alterna en el sistema para que puedan funcionar todos los electrodomésticos y equipos de la casa; este cálculo está dado por la capacidad total de las baterías del sistema y su voltaje de salida.

Al realizar el cálculo correspondiente para el inversor se obtuvo 1105 W, donde se escogió de 1500W; el tipo de inversor también es muy importante a la hora de la implementación del sistema, ya que se debe tener en cuenta si en el sistema hay equipos que contengan un motor o requieran de arranque para funcionar, pues el tipo de inversor más adecuado para estos es el de onda pura que permitirá generar una onda de corriente de gran calidad y precisa, la cual puede hacer funcionar todo tipo de aparatos eléctricos, incluyendo a los más exigentes y de electrónica sensible como son las bombas de agua, los electrodomésticos con motor como lavadoras, frigoríficos, lavavajillas, microondas, etc. [14].

$$Inversor\ sistema\ híbrido = \frac{V\ Baterías * Capacidad\ Baterías\ sistema\ híbrido * 1,3}{2} \quad (10)$$

$$Inversor\ sistema\ híbrido = \frac{12\ V * \frac{1.701\ WH}{12\ V} * 1,3}{2} = 1.105\ WH$$

Después de calcular la capacidad requerida de las unidades básicas del sistema híbrido, se determinó que los equipos a comprar son los mostrados en la tabla 4 a continuación:

Tabla 4 Equipos Sistema Híbrido.

Equipo	Valor
Panel Solar	315 W
Batería 115 Ah	2
Controlador de Carga Mppt	30 Ah
Inversor de Onda Pura	1200 W
Cableado Calibre 16	25 m

4.2.1 CONTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

MATERIALES:

- Un tubo de acero de pulgada, de 80 cm de longitud (ver Anexo 1A).
- Un tubo de acero de dos pulgadas de diámetro y de un metro de longitud (ver Anexo 2A).
- Tres mega arandelas de 6 centímetros de diámetro y orificio interno de 1.5 centímetros (ver Anexo 3A).
- Tres tuercas de eje para bicicleta (ver Anexo 4A).
- Dos rines de 26 pulgadas de bicicleta con eje de tuerca (ver Anexo 5A).
- Un tubo de PVC de 3 pulgadas de diámetro y 6 metros de longitud para agua residual (ver Anexo 6A).
- Dos piñones para bicicleta (ver Anexo 7A).
- Una cadena de bicicleta (ver Anexo 8A).
- Un alternador de carro o moto (ver Anexo 9A).
- 24 abrazaderas plásticas de 10 centímetros (ver Anexo 10A).

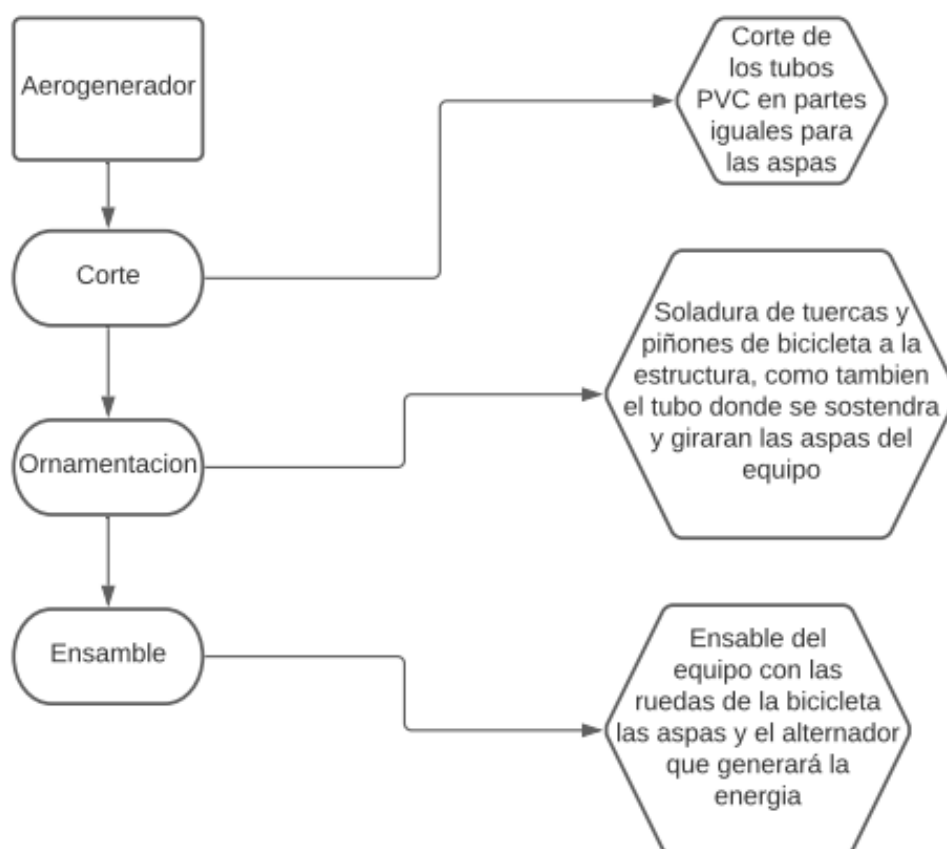


Imagen 16 Esquema de construcción del Aerogenerador Fuente: Autores

4.2.1.1 Corte:

- Se debe cortar el tubo de PVC en 6 partes de 93 centímetros de longitud ver imagen 17.
- Cada uno de los 6 tubos se deben cortar a lo largo por la mitad



Imagen 17 corte de tubo a lo largo Fuente: Autores

- Se hicieron 4 agujeros en cada esquina de uno de los lados de las 12 partes de tubo de PVC cortadas que servirán para sujetar las abrazaderas al rin de la bicicleta ver imagen 18.



Imagen 18 Corte de puntos en el tubo de PVC Fuente: Autores.

4.2.1.2 Ornamentación

- Primero se soldaron las tuercas de bicicleta a las mega arandelas ver imagen 19.



Imagen 19 Soldadura de tuercas con arandelas. Fuente: Autores.

- Luego al tubo de acero de 80 centímetros de longitud y una pulgada de diámetro se le soldó en cada uno de los extremos las megas arandelas soldadas con las tuercas de bicicleta, con la tuerca hacia el interior del tubo ver imagen 20.

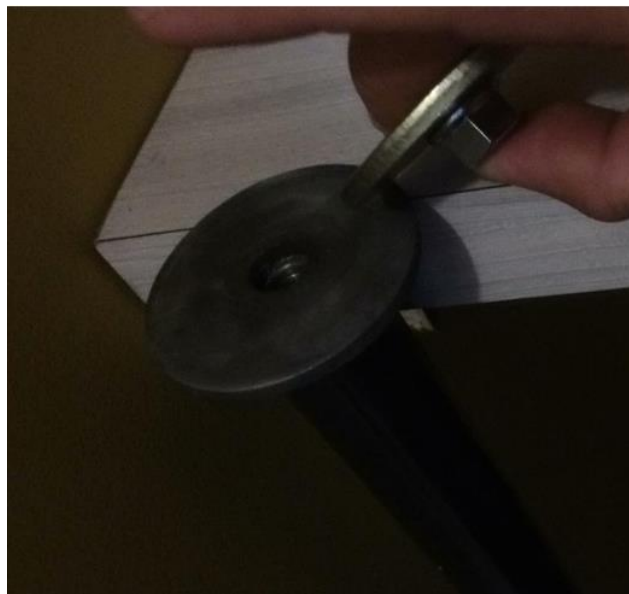


Imagen 20 Derecho de la arandela al soldarla al tubo metálico. Fuente: Autores.

- Al tubo de acero de un metro de largo y dos pulgadas de diámetro se le soldó en un extremo del tubo una mega arandela soldada con el tornillo hacia adentro
- Un piñón se soldó en el alternador.

4.2.1.3 Ensamble

- En el extremo del eje de uno de los rines se enrosco el tubo de un metro soldado ver imagen 21.



Imagen 21 Ajuste de eje en tubo soldado. Fuente: Autores.

- Los ejes de los rines de bicicleta se enroscan en el tubo soldado de 80 cm, en cada uno de sus extremos, incluyendo el otro extremo del eje que ya fue enroscado en el paso anterior ver imagen 22.



Imagen 22 Ajuste de ejes con tubos. Fuente: Autores.

-Los tubos cortados de PVC con sus orificios se amarran con la abrazadera a los rines de la bicicleta.

- Se sujetaron todos los 12 tubos de PVC cortados, en el rin con abrazaderas, como en el paso anterior, hasta completar todo el perímetro de los rines ver imagen 23.



Imagen 23 Instalación de tubos cortados en rines con abrazaderas. Fuente: Autores



Imagen 24 Instalación completa de tubos cortados en rines. Fuente: Autores

- A uno de los rines se le instaló un piñón.
- La cadena se instaló y adecuó entre el piñón del rin de bicicleta y el que se soldó en el alternador.



Imagen 25 Instalación completa de Aerogenerador con Alternador y cadena. Fuente: Autores

4.2.2 DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR

Como primer paso en la construcción del biodigestor anaerobio, se realizó un estudio de las diferentes variables que influyen en los procesos que se llevan a cabo en el reactor como Temperatura, humedad, tipo de residuos orgánicos y el inóculo presente en el reactor; también es importante que el biodigestor quede totalmente fuera del alcance del agua y de la lluvia teniendo en cuenta que esta puede filtrarse en el reactor y perjudicar los procesos metabólicos de las bacterias; para ello se construyó un enchaquetamiento en forma de cabaña tipo invernadero, que ayudó a aumentar y conservar la temperatura en el reactor.

Se encontró afuera de la vivienda el sitio adecuado para la construcción del invernadero, donde en un espacio de 5 m x 2 m, se pudo adecuar el lugar, para la implementación del biodigestor Ver Imagen 25, se adecuó el lugar del invernadero antes de empezar con la instalación de los aislantes utilizados. Como primer paso se construyó totalmente la vivienda colocando las partes de madera faltantes Ver Imagen 26. También fue necesario aplanar el suelo Ver Imagen 29, debido que este es un terreno irregular y no era muy sencillo enterrar el biodigestor.



Imagen 25 Exterior de cabaña Antes Fuente: Autores



Imagen 26 Interior de la Cabaña Antes

Luego de colocar y completar la forma de la cabaña, se utilizó un aislante negro de Polietileno Expandido (yumbolon) Ver Imagen 29, en las paredes alrededor y por fuera de la cabaña, que ayudó a conservar la temperatura de la cabaña; para el techo se utilizaron tejas transparentes que ayudaron a la entrada de los rayos provenientes del sol, produciendo el efecto invernadero dentro de la cabaña conservando la temperatura para ayudar a acelerar los procesos metabólicos dentro del reactor.



Imagen 27 Adecuación del suelo dentro de la Cabaña Fuente: Autores

Como último paso se adaptó una puerta corrediza que facilitó tanto la entrada a la cabaña para la alimentación del sistema de digestión anaerobia, como también que no existan tantos huecos dentro de la cabaña y que se produzcan pérdidas de calor dentro de esta. A continuación, se mostrará cómo se terminó de construir la cabaña para la instalación del biodigestor.



Imagen 28 Exterior de cabaña Fuente: Autores



Imagen 29 Exterior de la Cabaña con aislante



Imagen 30 Cabaña Terminada Fuente: Autores

4.2.2.1 Inóculo: Para incrementar la eficiencia del proceso y disminuir el tiempo de generación de biogás, se utilizaron dos tipos de inóculo:

- Inóculo suministrado por la Empresa Postobón, proveniente de los procesos anaerobios del tratamiento de Aguas residuales (PTAR)
- Inóculo obtenido in vitro con bacterias anaerobias fermentativas como lacto-bacterias contenidas en el yogurt, levadura, y bacterias de alcohol contenidas en el vino, además también se utilizó Azúcar y Agua para adaptar el medio

Para la preparación del Inóculo se necesitó de los siguientes insumos:

1. 2 L de Agua.
2. 50 ml de Vino.
3. 7 g de Levadura.
4. Un Yogurt 120 g.
5. 7 g de Azúcar.
6. Banda de Caucho.
7. Bolsa Plástica.
8. Tanque de Plástico 1 galón



Imagen 31 Insumos Inóculo Fuente: Autores

Primero se añadió el Yogurt al Agua, luego se mezcló el azúcar con la levadura, posteriormente se añade el vino para la fermentación del inóculo y que las bacterias puedan acelerar su actividad microbiana. Este es un compostaje acelerado con bacterias anaerobias; este inóculo ayudará para que el tiempo de retención dentro del reactor sea más corto y se pueda establecer una diferencia al usar un tipo de inóculo o al usar los dos ya mencionados anteriormente. Como último paso se selló el galón utilizado con la bolsa plástica y la banda de caucho Ver Imagen 32, se buscó un lugar de poca luz para que esta no afecte el crecimiento de las bacterias dentro del inóculo y se dejó 8 días, cuando se observó un poco de presión en la bolsa.



Imagen 32 Inóculo Fuente: Autores

MATERIALES

Los materiales que se emplearon para la elaboración del biodigestor son los siguientes:

- Bidón de 60 Litros, con tapa hermética y profunda, con cierre en hebilla metálica (ver Anexo 1B).
- Un metro de tubo de PVC para agua potable de una pulgada (ver Anexo 2B).
- 2 flanches de una pulgada (ver Anexo 3B).
- 2 conectores macho para flanche de pulgada (ver Anexo 4B).
- 2 conectores hembra para flanche de pulgada (ver imagen 5B).
- 1 codo de pulgada (ver Anexo 6B).
- 50cm de tubo $\frac{3}{4}$ de pulgada
- 3 metros de manquera de copolimeros termoplásticos para gas de $\frac{3}{8}$ de pulgada (ver Anexo 7B).
- 2 válvulas de PVC de una pulgada (ver Anexo 8B).
- 2 válvulas de gas de $\frac{3}{8}$ de pulgada (ver Anexo 9B).
- Un conector de gas de $\frac{3}{8}$ de pulgada (ver Anexo 10B).
- 6 abrazaderas pequeñas de metal.
- Un neumático de automóvil (ver Anexo 11B).
- Una botella pet de 3 Litros, reutilizada.
- Aislante Térmico 180 cm x 50 cm de Goma Eva de 5mm de grosor (ver Anexo #).
- Neumático reutilizado de bicicleta.
- Sikaflex tapa huecos para polímeros (ver Anexo 13B).
- Soldadura de tubos de PVC (ver Anexo 13B).

4.2.2.2 CONSTRUCCIÓN

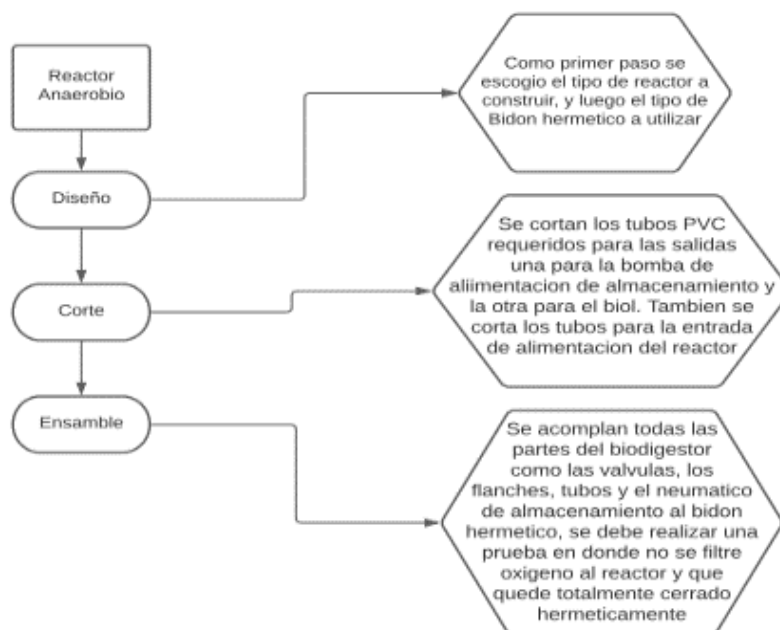


Imagen 33 Esquema de construcción del Biodigestor Fuente: Autores

4.2.2.1 Corte:

- El tubo de agua potable se cortó en tres partes de 30cm de longitud y una de 10cm.
- Al tubo de $\frac{3}{4}$ de pulgada se le hizo un corte transversal en uno de los extremos.
- La manguera de gas, se cortaron tres partes de 20 cm de longitud.
- En la tapa del bidón se realizaron dos agujeros para el flanche de una pulgada y para el conector de gas de $\frac{3}{8}$ de pulgada. Que funcionan para la entrada continua de materia orgánica que alimenta el biodigestor y la salida del biogás respectivamente.
- En el bidón se realizó un agujero para el flanche de una pulgada, en la parte inferior del bidón, a 4 cm del borde inferior, por ahí funciona la salida del abono, biol.



Imagen 34 Corte circular bidón. Fuente: Autores.

4.2.2.2 Ensamble: El ensamble se dividió en los tres huecos que se realizaron al bidón.

-Empezando por el agujero de la parte inferior por donde sale el biol que corresponde al abono generado dentro del reactor; ahí se ajustó el flanche en el agujero y alrededor se selló con sikaflex; se ajustó un macho hacia la parte superior del flanche y se pegó el tubo de 10 cm con la soldadura de PVC, en el otro extremo del tubo se pegó una parte de la válvula de una pulgada de PVC; en el otro lado de la válvula se pegó un tubo de 30cm y para terminar se colocó el codo en el otro extremo del tubo de 30 cm.



Imagen 35 Ensamble parte biol. Fuente: Autores.

-En la parte de la tapa en el agujero para la salida del gas, se puso el conector de 3/8 de pulgada con una capa de sikaflex alrededor, tanto en la parte exterior como interior. Luego se conectó la manguera del gas de 20 cm a la parte exterior del conector, asegurándola con una abrazadera metálica. Al otro lado de la manguera se aseguró con otra abrazadera a un lado de la válvula de gas; en el otro extremo de la válvula se aseguró con una abrazadera una manguera de 20 cm, que va conectada a otra segunda válvula que se conectó respectivamente al neumático de automóvil con una manguera de 20 cm y aseguradas con abrazaderas.



Imagen 36 Ensamble parte biogás. Fuente: Autores.

-En el agujero faltante en la tapa donde está la entrada continua de materia orgánica se ajustó el flanche de una pulgada con sus respectivos conectores macho y hembra; hacia la parte interna se pegó el tubo de $\frac{3}{4}$ de pulgada con corte transversal y en la parte exterior se pegó un tubo de 30cm para agua potable. En el otro extremo del tubo se adaptó una válvula de PVC de 1 pulgada. En el otro extremo de la válvula se colocó otro tubo de 30cm. Para finalizar en el otro extremo del tubo se pegó la parte superior de la botella PET cortada, ya que funciona como embudo para agregar y recargar el reactor con la materia orgánica recolectada.



Imagen 37 Ensamble parte entrada continua. Fuente: Autores.



Imagen 38 Ensamble parte embudo. Fuente: Autores.

4.2.2.3 CARACTERIZACIÓN Y PESAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Se caracterizaron los residuos orgánicos que genera la vivienda rural por dos grupos, los tipos de residuos que generó la vivienda rural son de; estiércol de bovinos Ver Imagen 39, residuos de poda Ver Imagen 40 y desechos orgánicos de cocina Ver Imagen 41, algunos de los más relevantes son frutas y verduras descompuestas, cuero y viseras de pollo, pescado y carnes rojas en descomposición, pan endurecido, entre otros.

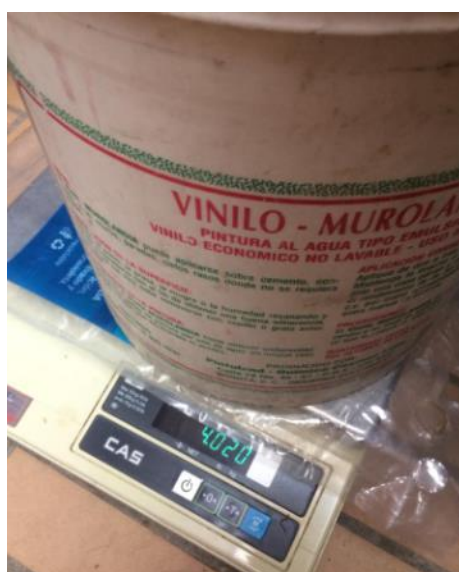


Imagen 39 Pesaje heces bovinos. Fuente: Autores.



Imagen 40 Pesaje residuos de poda. Fuente: Autores.



Imagen 41 Pesaje residuos orgánicos de cocina. Fuente: Autores.

4.2.2.4 PREPARACIÓN Y MEZCLA

Se mezcló en el reactor construido, la materia orgánica caracterizada de la vivienda rural y los inóculos con agua en una relación 1:1, esto teniendo en cuenta la bibliografía buscada para tal fin, donde se indica que para reactores caseros o de menor volumen la relación óptima es 1:1 para que los residuos puedan ser degradados más fácilmente por las bacterias [15]. La cantidad que se mezcló en el bidón se especificó en la tabla 5.

Tabla 5 Cantidad de Residuos Organicos Fuente: Autores.

Tabla de pesos para mezcla de biodigestor	
Sustratos para mezclar	Peso neto
Heces fecales de bovinos	2,9 kg
Residuos de poda	2,42 kg
Residuos de orgánicos de la cocina	8,84 kg
Inóculo PTAR Postobón	0,035 kg
Inóculo lacto bacterias y levaduras	1,835 kg
Agua	16 L
Total	32,03 Kg

Lo primero que se introduce en el bidón construido son los residuos orgánicos de cocina, previamente triturados lo más pequeño posible. Luego se procedió a mezclar los inóculos, las heces fecales de bovinos y los residuos de poda. Por último, se vertió el agua calentada a 35° C. Se calentó con el fin de favorecer la actividad microbiana. Se finalizó el proceso cerrando el bidón y las válvulas, desde ese momento empezó a medirse el tiempo de retención.



Imagen 42 Mezcla de residuos orgánicos vivienda en bidón. Fuente: Autores.

4.2.2.5 ENCHAQUETAMIENTO

El aislante térmico de goma Eva se enrolla alrededor del bidón, luego se aseguró con retazos del neumático de bicicleta. Para aislar del suelo se utilizó un rectángulo de polipropileno expandido debajo del bidón.



Imagen 43 Enchaquetando biodigestor. Fuente: Autores.

4.2.2.6 CALCULO PRODUCCIÓN BIOGÁS

Se debe tener en cuenta que el potencial de producción de biogás para residuos orgánicos domiciliarios es de $0,15 \text{ m}^3/\text{Kg}$. El valor calorífico del biogás es de $7 \text{ KWh}/\text{m}^3$. El peso total de residuos orgánicos caracterizados por dos semanas en la vivienda rural es de 32,03 Kg, por lo tanto:

$$32,03 \text{ Kg} * \frac{0,15 \text{ m}^3}{\text{Kg}} = 4,8045 \text{ m}^3 \quad (\text{Ec.13})$$

El biogás que se estima que puede llegar a producir el biodigestor con dos semanas de residuos orgánicos domiciliarios es de $4,8045 \text{ m}^3$, que al mes serían $9,6 \text{ m}^3$ de biogás y al año $115,3 \text{ m}^3$.

$$4,8045 \text{ m}^3 * 7 \frac{\text{KWh}}{\text{m}^3} = 33,6315 \text{ Kwh} \quad (\text{Ec.14})$$

La energía equivalente de dos semanas de residuos orgánicos de la vivienda rural en el biodigestor es de 33,6315 KWh, que al mes serían 67,263 KWh y al año 807,156 KWh.

4.2.2.7 PRUEBA DE SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE BIOGÁS

Para garantizar que el sistema de almacenamiento de biogás no tenga fugas y funcione correctamente, se debe evidenciar que después del mes de retención debe percibirse que el neumático de automóvil se infle.

Para comprobar que el biogás es funcional se debe hacer una prueba después del mes de retención, en un fogón alimentado por la válvula que sale del neumático inflado, si genera una llamarada, el biogás es útil para las necesidades de la vivienda.

4.3 IMPLEMENTACION DEL SISTEMA HIBRIDO

Para la implementación del sistema se tuvo en cuenta el sistema de conexiones realizado para este objetivo Ver Anexo C, en este caso como es un sistema de energía renovable pequeño la conexión se realizó en paralelo todos los equipos uniéndolos desde sus polos positivo con positivo y negativo con negativo.

Para la conexión del panel se necesitó de dos conectores MC4 (Macho y hembra) con sus respectivas polaridades como se observa en la Imagen 44, como también de un cableado solar de 4 pulgadas con sus respectivos terminales con sus polaridades positivo y negativo, cabe destacar que el polo positivo del panel es la última conexión que se debe realizar en el sistema para evitar una sobrecarga de energía.



Imagen 44 Conectores MC4, Cable con terminales Fuente: Autores

Luego se conecta como se indicó anteriormente en paralelo con el controlador de carga, este equipo debe ser ajustado para trabajar al voltaje requerido, en este caso 12V, deben conseguirse los adaptadores necesarios para conectar los cables al equipo como se observa en la imagen 45.



Imagen 45 Conexión en Paralelo panel- controlador Fuente: Autores

Luego se conecta la batería con el controlador de carga nuevamente en paralelo, en este caso debe utilizarse un cable soldador flexible de 6 pulgadas que resista la corriente que pasara por el controlador, debido a que si no se escoge un cable que aguante el flujo de corriente puede quemar el equipo y tener problemas para la instalación, se recomienda colocar dos seguros en la batería para no tener la posibilidad de que se desconecten del equipo como se observa en la imagen 46.



Imagen 46 Conexión a la batería con seguros Fuente: Autores

Luego se realizó la conexión en paralelo del inversor de carga con la batería, como también la conexión del inversor al controlador para que este nos ayude a dar la corriente de inicio del controlador como se observa en la imagen 47.



Imagen 47 Conexión de los equipos al controlador Fuente: Autores

Al conectarse el inversor y dejar que genere un poco el panel, se prende la pantalla del controlador donde se pudo observar los valores del voltaje del

equipo y sistema como también la corriente de 30 Ah que se calculó para este equipo, luego de realizar la debida conexión de los equipos, se realizó una prueba del funcionamiento del sistema donde se conectaron dos equipos celulares una batería de taladro, un computador, un amplificador de sonido y una bombilla como se puede observar en las imágenes 49 y 50 los equipos se están cargando lo que quiere decir que el sistema y las conexiones están funcionando correctamente.



Imagen 48 Conexión y prueba de los equipos Fuente: Autores



Imagen 49 Prueba de batería cargando Taladro



Imagen 50 Prueba de bombilla y amplificador

El panel solar fue instalado en el tejado de la casa con la inclinación de 5° según la latitud del lugar y de la dirección del sol, se soldó con abrazaderas al

techo de la vivienda para que este no pueda ser retirado con facilidad, los demás equipos se construyó una caja de seguridad dentro de la vivienda, debido que estos equipos no deben recibir ni humedad ni radiación directa ya que puede verse afectado su funcionamiento.

Para el aerogenerador se realizó la conexión en paralelo del alternador al regulador de corriente para que este controle los picos de corriente que se generen en el aerogenerador construido, este se conectó con cable soldador flexible de 2 pulgadas en paralelo a la batería regenerada. Se busca que la corriente que vaya a pasar por el regulador y el controlador solar sea la misma a la que se calculó en el dimensionamiento, en este caso el regulador de corriente debe botar los 30^a como se observa en la imagen 51.



Imagen 51 Corriente del controlador Sistema Híbrido Fuente: Autores

Para la instalación del aerogenerador fue necesario cavar un hueco en el suelo de aproximadamente 50 cm, en donde se enterró un tubo de PVC de una medida más ancha a la de la estructura del aerogenerador, para que esta pueda sostener el equipo y que quede totalmente sujeto al suelo. Se recomendó en la vivienda que en un futuro puedan darle una mejor estabilidad al equipo ya sea con un poco de concreto para reforzar la estructura y que está no tenga problemas de balanceo. En la Imagen 53 se observa como quedo la instalación del sistema híbrido en la vivienda.



Imagen 52 Instalación del Sistema Híbrido en la vivienda Fuente: Autores

4.4 PROCESO DE REUTILIZACIÓN DE BATERIAS

Primero se consiguió una batería de Acido Plomo de 115 Ah de carro descargada, se procedió a realizar la prueba con un voltímetro para verificar el voltaje inicial de la batería antes de realizar el procedimiento dando un resultado de 5,28 V Ver Imagen 53, como se puede observar esta batería está totalmente descargada y cumplió con los requerimientos para realizar la reutilización. Como primer paso se vació el ácido (H_2SO_4) restante que quedaba en la batería, cabe aclarar que este procedimiento se llevó a cabo en los laboratorios de la Universidad Santo Tomas, y estuvo acompañado por los directores del proyecto.

Se vació completamente el ácido de la batería y se almaceno en un recipiente; este acido sale totalmente sucio debido a los gases de combustión ver imagen 54, y es necesario realizar un lavado de la batería; por eso con una solución de Bicarbonato de Sodio y agua destilada se realizó la limpieza de las celdas repetidas veces hasta que se logre sacar la solución limpia.



Imagen 53 Voltaje de la Batería Fuente: Autores



Imagen 54 Acido Batería Fuente: Autores

Se dejaron todas las celdas totalmente llenas de la solución y se deja reposar aproximadamente 20 minutos dentro de la batería, luego del lavado de la batería y de recolectar el ácido en el recipiente, se realiza un filtrado del ácido Ver imagen 55, con un matraz Erlenmeyer, papel filtro y un embudo; para tener una mejor limpieza del Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) se pasó por 3 diferentes filtros dejándolo totalmente limpio Ver imagen 56. Debido al uso y la descarga de la batería esta pierde un gran porcentaje del ácido; esta es una de las razones por la cual se descargan, es por eso por lo que es necesario añadir un porcentaje de ácido a la batería para poder regenerarla, se aplicó un ácido al 90 % con 1/3 de agua para disminuir la concentración de este; debido que el ácido usado normalmente en este tipo de baterías es del 60%. Se llena nuevamente las celdas de la batería con el ácido limpio y se lleva a recargar a una fuente de carga durante 24 h. Es necesario que en la fuente de carga se ajusten los valores de voltaje y corrientes de acuerdo con el tipo de batería,

debido que estas deben recargarse con valores superiores a los valores estándar de la batería es por eso que se escogió un voltaje de 13,6 y de 0,20 A para la corriente Ver imagen 57.



Imagen 55 Filtrado Acido Fuente Autores



Imagen 56 Filtrado Final Fuente Autores



Imagen 57 Fuente de Carga Fuente Autores

Al dejar el tiempo requerido de carga de la batería al día siguiente se volvió a realizar la prueba con un Voltímetro arrojando un resultado satisfactorio de 13,06 V Ver Imagen 58, dejando la batería nuevamente cargada y lista para su uso. Luego se realizó una prueba de descarga para determinar cuántos picos de carga y descarga tiene la batería regenerada, para ello se utilizó una resistencia de 1 Ohmio y se conectó en serie a la batería, se deja descargar hasta 6 V esto para que no se dañe la batería, debido que si se deja descargar más de la mitad de su voltaje puede dañar la batería y tendría que ser

cambiada, se contabilizó el tiempo que duró la batería en descargarse que fue un tiempo de 10 h , este paso se realiza varias veces para saber si la batería va a tener el mismo comportamiento con cada descarga.



Imagen 58 Carga de la Batería Fuente: Autores

Con las pruebas realizadas a la batería se logró estimar que estas pueden ser regeneradas y que pueden tener una vida útil de 2-3 meses de uso continuo, este proceso de reutilización de baterías sale bastante económico si se cuenta con los insumos necesarios para realizar el proceso, también se recomienda que este sea supervisado y realizado por personas que sepan manipular este tipo de sustancias como también realizarlo en un espacio adecuado donde no se llegue a tener algún tipo de contingencia.

4.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA

A continuación, en la Tabla 6 y en la Tabla 8, se indicarán los costos para la ejecución del proyecto; cabe destacar que este sistema, debido a que cuenta con algunos componentes fabricados o regenerados no requirió de un presupuesto alto como se estimó en un principio; en la tabla 6 se especifican los costes correspondientes a la instalación del sistema híbrido, la compra de cada uno de los equipos y se estimó un presupuesto para la construcción del aerogenerador, puesto que la mayoría de materiales utilizados fueron reutilizados; se realizó el mismo procedimiento para el biodigestor anaerobio donde se tuvieron en cuenta todos los materiales comprados, como también los utilizados en la construcción de la cabaña tipo invernadero.

Para la evaluación económica se consideró un periodo de retorno de 20 años; también se tuvo en cuenta que en los proyectos al 5 año es donde se encuentra el punto de inflexión y donde un proyecto debe empezar a generar rendimientos económicos. Actualmente la vivienda paga un importe de \$35.000 mensuales a la empresa de Energía del municipio se calculó un incremento anual del 3,81% media tomada de los últimos 10 valores anuales para Colombia del IPC (Índice de precios al Consumo). Se calculó el total de equipos e implementación del sistema; se calculó la VPN, como la TIR y el tiempo de retorno de la inversión desde el momento en que se esté operando el sistema híbrido.

Tabla 6 Costos del Sistema Híbrido Fuente: Autores

Equipo	Valor	Costo \$
Panel Solar	315 W	477.000
Aerogenerador		250.000
Controlador	30 Ah	135.000
Baterías	115 Ah	90.000
Inversor	1500 W	550.000
Cableado	Calibre 26	100.000
Mano de Obra		170.000
Total		1 772.000

Como se evidencia en la **E.11**, el tiempo de retorno de la inversión para el sistema híbrido es de 50,3 meses lo que equivalen a 4 años, desde la fecha, se toma el valor total de implementación del sistema y se divide con el importe mensual que realizaba la vivienda a la empresa de energía.

$$\text{Tiempo de Retorno Inversión} = \frac{\text{Coste total del Sistema Híbrido}}{\text{Importe Mensual de la Vivienda}} \quad (11)$$

$$\text{Tiempo de Retorno Inversión} = \frac{1\,772.000}{35.000} = 50,3 \text{ Meses} \quad (11).$$

Para calcular la TIR y el VPN, se estimó un tiempo de retorno de 20 años, donde nuestra inversión será el único costo inicial en la consecución del proyecto, se calculó también una reinversión a 20 años, tiempo estimado de vida útil de los componentes del sistema, en el caso del aerogenerador se recomienda que sea cambiado por uno nuevo al quinto año de operación; para el flujo de caja se colocó el valor que estaría ahorrando la vivienda durante los próximos 5 años a la instalación del sistema con el incremento del IPC anual, , también se tiene en cuenta los costos de mantenimiento como lo son el cambio de baterías en el sistema, que se realizaría cada 2 años con un importe de aproximadamente \$ 100.000.

Como se evidencia en la Tabla 7 , la TIR calculada para el proyecto es del 30,9%, lo que indica que el proyecto generará rendimientos o beneficios a partir del quinto año de operación, los retornos de inversión reales en cualquier año pueden ser diferentes debido a la probable existencia de variables no tomadas en cuentas, como aumentos en los costos o un ambiente económico poco estable, es por eso que en nuestro 4 año aún no se recupera el coste de la inversión; por eso que se escogió un periodo de 20 años para que el proyecto sea viable y que genere beneficios a futuro tanto ambientales como económicos. Teniendo en cuenta que normalmente las tasas de retorno de proyectos de Energías Renovables se encuentran entre 13 y el 20 %, (E, Lopez Mejia [28]) se puede deducir que el proyecto tiene una alta tasa de retorno y que la inversión se recuperará en menor tiempo.

El VPN calculado como se observa en la tabla 7 fue de \$ 36 908.450, lo que indica que es un proyecto viable y que al 5 año se recupera la inversión y empieza a generar ganancias y ahorros en la vivienda, se proyecta que se tendría una ganancia de \$ 34 777.002 que comparándola con la inversión inicial son un ahorro económico significativo para la comunidad beneficiada Para ver hoja de cálculo ir a Anexo D.

Tabla 7 Calculo VPN y TIR Sistema Híbrido Fuente: Autores

		Año
	Detalle	0
Ingresos	Ahorro de energía	\$ 420.000
Egresos	Mantenimiento	
	Panel Solar	\$ 477.000
	Aerogenerador	\$ 250.000
	Controlador	\$ 135.000
	Baterías	\$ 90.000
	Inversor	\$ 550.000
	Cableado	\$ 100.000
	Mano de Obra	\$ 170.000
	Re-Inversión	
	Total	-\$1.352.000
	Valor Presente Neto	\$36.908.450
	TIR	30,90%
	Tasa	3,81%

Para el Biodigestor se tuvo en cuenta el tiempo y costo del cambio de la pipeta de gas en la vivienda, donde la compra se realiza cada dos meses, normalmente se compra un cilindro de 10L para el abastecimiento de gas. Como se observa en la Tabla 8, el importe de inversión para la implementación del biodigestor anaerobio fue de \$ 236.450, se especificó cada uno de los costos de los materiales utilizados para la construcción de este. Al igual que el sistema híbrido se calculó el tiempo de retorno de la inversión en este caso dado que los costes tanto de la implementación como el precio del cilindro son mucho más bajos, nuestra inversión se recuperará al 4 mes de operación (Ver E.12); siendo este un sistema muy efectivo y económico para poder implementar aquellas familias que generen este tipo de residuos y que aún utilicen estos cilindros de gas Metano para cocinar.

Tabla 8 Costos de Implementación Biodigestor Anaerobio Fuente Autores

Material	Cantidad	Valor \$
Bidón 60L	1	60.000
Flanche 1 pulgada	2	40.000
Conector Macho Flanche 1 pulgada	2	15.000
Conector Hembra Flanche 1 pulgada	2	19.000
Codo 1 pulgada	1	6.500
Tubo PVC ¾ de pulgada	1	8.000
Manguera copolimeros	1	3.500
Válvula PVC 1 pulgada	2	18.000
Válvula de gas PVC 3/8 de pulgada	2	25.000
Conector de gas 3/8 de pulgada	1	12.000
Abrazaderas de metal	6	6.200
Neumático	1	1.500
Botella PET 3L	1	600
Aislante térmico de goma	1	8.500
Neumático de vehículo	1	8.000
Sikaflex tapa huecos	1	2.500
Soldadura de tubos PVC	1	3.500
Teja transparente	4	40.000
Aislante Térmico (yumbolón)	1	5.000
Total		236.450

$$\text{Tiempo de Retorno Inversión} = \frac{\text{Coste total del Biodigestor Anaerobio}}{\text{Importe Mensual de la Vivienda}} \quad (12)$$

$$\text{Tiempo de Retorno Inversión} = \frac{236450}{60000} = 3,99 \text{ Meses} = 4 \text{ Meses} \quad (12)$$

Para el cálculo de la TIR se estimó para un periodo de 60 meses bimensual como se observa en la Tabla 9, se tuvo en cuenta un costo de mantenimiento por si se requiere del cambio de alguna válvula o del neumático de almacenamiento, también se tuvo en cuenta que al mes 60 se debe realizar un cambio del biodigestor teniendo que realizar una reinversión de \$310.000. La

TIR será del 17,15 % lo que indica que es un proyecto viable desde el mes 14, lo que quiere decir que al año ya se está realizando un ahorro en la compra de la pipeta y que generara ganancias tanto económicas como ambientales. Para ver hoja de cálculo ir a Anexo D.

Tabla 9 Caculo VPN y TIR Sistema Híbrido Fuente Autores

		Año
Detalle		0
Ingresos	Ahorro Gas	\$ 60.000
Egresos	Mantenimiento	
	Bidón 60L	\$ 60.000
	Flanche 1 pulgada	\$ 40.000
	Conector Macho Flanche 1 pulgada	\$ 15.000
	Conector Hembra Flanche 1 pulgada	\$ 19.000
	Codo 1 pulgada	\$ 6.500
	Tubo PVC ¾ de pulgada	\$ 8.000
	Manguera copolimeros	\$ 3.500
	Válvula PVC 1 pulgada	\$ 18.000
	Válvula de gas PVC 3/8 de pulgada	\$ 25.000
	Conector de gas 3/8 de pulgada	\$ 12.000
	Abrazaderas de metal	\$ 6.200
	Neumático	\$ 1.500
	Botella PET 3L	\$ 600
	Aislante térmico de goma	\$ 8.500
	Neumático de vehículo	\$ 8.000
	Sikaflex tapa huecos	\$ 2.500
	Soldadura de tubos PVC	\$ 3.500
	Teja transparente	\$ 40.000
	Aislante Térmico (yumbolón)	\$ 5.000
Total		-\$ 222.800
VPN		\$ 4.680.615
TIR		17,15%
Tasa		3,81%

La VPN que se calculó y como se muestra en la tabla 10 es de \$ 4 680.615 lo que indica que será viable la implementación del biodigestor y que en el Mes 60 ya se tendrán ganancias de \$4 457.815, que ayudara a priorizar otros gastos de la vivienda como también a reducir la acumulación de residuos orgánicos en rellenos sanitarios y en la calle. Para ver Hoja de cálculo ir a Anexo D.

5. Impacto Social

Las personas que se beneficiaron con este proyecto se asemejan a la historia de vida de muchas otras familias que viven en el sector rural, que se han visto obligadas a lo largo de su vida a sobrevivir, ignorando el impacto ambiental que puedan ocasionar sus hábitos de vida. Ejemplo, la deforestación de sus ecosistemas aledaños, que en este caso es el páramo, deforestación que se origina por la necesidad de un combustible para prender sus hornos de leña que utilizan para cocinar sus alimentos, calefacción y calentar agua para bañarse. Estos generan emisiones de efecto invernadero y pueden producir enfermedades respiratorias a un mediano y largo plazo. La implementación de soluciones ambientales como el biodigestor anaerobio ayuda a que estas familias puedan satisfacer sus necesidades con un combustible que se produce por la descomposición anaerobia de sus residuos orgánicos que en otras ocasiones puede ser un desecho acumulativo y que no solo produce un biogás, también un abono para sus plantas o cultivos; la implementación reduce impactos como deforestación, emisiones y generación de residuos, reducen gastos en abonos o fertilizantes y en pipetas de gas de fuentes fósiles a las familias que las utilicen.

En el caso de la electricidad muchas zonas del país son no interconectadas y en otros casos las conexiones a la red son de forma artesanal ya que ningún técnico llega a hacer la instalación; también sufren de cortes de electricidad frecuentes. Un sistema híbrido de electricidad eólica-solar, garantiza electricidad a cualquier hora del día, generada por fuentes renovables y con un sistema modular para un crecimiento progresivo, hacia la sostenibilidad total.

Conclusiones

- A partir de los datos recopilados en las visitas técnicas programadas para el estudio de demanda de energía en la vivienda se encontró que esta requería 2643,45 WH/día para su abastecimiento eléctrico; con base en el dimensionamiento del sistema híbrido solar – eólico y de acuerdo al presupuesto, se llegó a satisfacer 65% de la demanda de la vivienda siendo un porcentaje representativo, debido que este tipo de sistemas es relativamente de elevado costo; sin embargo se buscó reducir costos de implementación utilizando baterías regeneradas y construyendo el aerogenerador.
- Se presentaron inconvenientes para la recopilación de datos en campo respecto a velocidad del viento y radiación solar requeridos para el dimensionamiento del sistema híbrido, debido que no se contaba con los equipos necesarios como una estación meteorológica adecuada; se utilizó la información de bases de datos del IDEAM para la radiación solar pico o menor y para la velocidad del viento se tomó el valor promedio determinado en campo con un velocímetro.
- Actualmente Colombia no cuenta con una matriz energética variada en donde las energías renovables tenga un porcentaje importante en ella, ya que esta aún se centra en la generación hidroeléctrica en gran porcentaje 68,3%, térmica 30,7% y demás fuentes como la solar, eólica y la cogeneración un porcentaje de apenas 1,1%, es por eso que este proyecto buscó poder demostrar que se pueden aprovechar todos los recursos que tenemos para poder contribuir en la huella de carbono y que se busquen nuevas maneras de generar energía y biogás.
- Para la construcción del biodigestor anaerobio se tuvo en cuenta una serie de recomendaciones para la generación de biogás; el tipo de bidón es muy importante para el funcionamiento, debe ser totalmente de cierre hermético esto para que no se tengan fugas en el sistema y afecte el almacenamiento del biogás y su posterior uso. El tipo de residuo también es muy importante para la generación de biogás debido que los residuos utilizados tenían buen poder calorífico para su fácil degradación como lo son los residuos de comida, de animales y de poda.
- Se estima que el biodigestor genera al mes 9,6 m³ de biogás y al año 115,3 m³ que representan una energía equivalente mensual de 67,263 KWh y anual de 807,156 KWh, debido a que fue un biodigestor casero su tiempo de retención será mayor a 30 días.
- Se tuvo en cuenta que la zona de instalación del proyecto queda sobre la falda del Páramo de Guerrero, donde predominan las bajas

temperaturas que no favorecen los procesos en el biodigestor; por consiguiente, se decidió construir una cabaña tipo invernadero con recubrimiento de aislante (yumbolón), que redujo las pérdidas de calor al ambiente, favoreciendo los procesos de degradación realizados por las bacterias metanogénicas para degradar los sustratos y producir biogás.

- Los cálculos para el dimensionamiento arrojaron que el sistema híbrido necesitó de un controlador de 30 Ah, un inversor de 1500 W Onda Pura, para que todos los equipos con y sin arranque en la vivienda puedan funcionar óptimamente, un Panel solar de 315 W monocristalino, este tipo de panel tiene una mayor eficiencia que un policristalino en zonas frías, 2 baterías de 115 Ah que fueron regeneradas con H_2SO_4 ,
- Para la reducción de costos en un sistema es posible regenerar las baterías de Acido –Plomo para su implementación, este proceso se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Santo Tomas y se realizó la recarga de esta en la unidad de laboratorios de Ingeniería Electrónica, se compraron dos baterías descargadas a 5,25 V y se regeneraron con un lavado y filtrado del SO_4 , dando como resultado después de la recarga de 24 h 11,97 V lo que indica que la batería fue recargada.
- Para la viabilidad del proyecto se calculó el tiempo de retribución de la inversión como la TIR y VPN para cada uno de los sistemas, se pudo llegar a concluir que este proyecto es VIABLE debido que el tiempo de retorno total de la inversión es al 4 año después de haberlo implementado y que a partir de la fecha genera beneficios tanto ambientales como económicos en la vivienda
- La TIR 30,9% de determina que el proyecto es bastante rentable por encima de la TIR promedio en otros proyectos de inversión en energías renovables. El VPN de \$ 35 048 250 hace viable el proyecto al ser positivo generando ganancias significativas y ahorro a la vivienda en el largo y corto plazo.

Recomendaciones

Se recomienda un estudio de la cantidad real de biogás generado por los residuos de la vivienda. Además, analizar los factores que puedan hacer variar su generación, como tipo de residuos orgánicos, temperatura, enchaquetamiento del biodigestor, tipo y volumen de bidón, sistema de almacenamiento de biogás.

Ampliar el sistema híbrido de electricidad, llegando a satisfacer toda la demanda requerida, se podría también aprovechar el biogás generado y transformarlo en la energía faltante para suplir la vivienda, aumentar progresivamente el porcentaje de sostenibilidad de fuente renovables, aprovechando que es un sistema modular.

Un aspecto muy importante en un sistema renovables es el banco de baterías donde se almacenara toda esa energía generada, se recomienda en este caso que la reutilización de baterías no brindó la estabilidad que se requería para el sistema, pudo ser debido al tipo de batería regenerada debido que esta era de ácido-plomo y normalmente en estos sistemas se utilizan de ciclo profundo, si se va a regenerar las baterías para un sistema renovable es recomendable que se utilicen de una vez las de ciclo profundo así al sistema no se le descargaran tan rápido las baterías y tendrá un tiempo mayor de almacenamiento. En dado caso que no se quiera regenerar las baterías se recomienda entonces comprar la batería solar especificada ya anteriormente en el dimensionamiento del sistema.

Se recomienda hacer un estudio meteorológico específico y real de la zona de implementación, con estaciones meteorológicas de calidad y bien calibradas que brinden datos reales para el dimensionamiento de futuros sistemas híbridos implementados en el país.

Bibliografía

- [1] I.M. Ostos Rojas, C.A. Collazos Morales, H.E. Castellanos Acuña and C.P. Fernández Arévalo (2017), "Sistema híbrido fotovoltaico (FV) con interacción a la red para zonas rurales de Colombia," *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 8, no. 1, Jun 5, pp. 169-182.
- [2] SUPERINTENDENCIA DE ENERGÍA Y GAS (2018). DIRECCIÓN TÉCNICA DE GESTIÓN DE ENERGÍA Bogotá, D.C. [online]. p.3. Available at: https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2018/Dic/diag_zni_2_018_7122018.pdf [Accessed 17 Mar.2019]. [2]
- [3] Robles Algarin, C. and Rodriguez Alvarez, O. (2018). Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia. ESPACIOS, [online] (34), p.16. Available at: <http://www.revistaespacios.com/a18v39n34/a18v39n34p10.pdf> [Accessed 16 Mar. 2019].
- [4] Lugari, P. (2019). Fundación Centro Experimental Las Gaviotas. [online] Centrolasgaviotas.org. Available at: <http://www.centrolasgaviotas.org/Inicio.html> [Accessed 3 Apr. 2019].
- [5] Rodriguez Garcia, R. (2019). La Bioconstrucción. [online] Lacosmopolitana.com. Available at: <http://lacosmopolitana.com/es/productiva/92-la-bioconstruccion> [Accessed 9 Apr. 2019].
- [6] Upme.gov.co. (2015). Unidad de Planeacion Minero Energetica. [online] Available at: http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf [Accessed 16 Mar. 2019].
- [7] Prias C, O. (2018). Energías Renovables, una alternativa para la innovación ambiental. [online] Car.gov.co. Available at: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5b08443fb7cbe.pdf> [Accessed 3 Apr. 2019].
- [8] Upme.gov.co. (2017). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. [Online] Available at: http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf [Accessed 1 Apr. 2019].
- [9] A. Moya Moreno, «Especialista en Fuentes de Energía e Impacto Ambiental,» Fundación para el desarrollo de los Pueblos de Andalucía, Córdoba, España, 2010
- [10] Europe, S. (2016). Módulo Fotovoltáico: El efecto fotovoltaico en un panel solar. [online] SunFields: Distribuidor Material Fotovoltáico | Desde 2007. Available at: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/modulo-fotovoltáico-efecto-fotovoltáico/> [Accessed 18 Mar. 2019].
- [11] J. Alonso Montes, A. Fernandez Duran and C. Jimenez Suarez, "Energia Solar Fotovoltaica", COIT.GOV.CO, 2012. [Online]. Available: http://www.cornare.gov.co/Tramites-Ambientales/TR/TR-manejo_vertimientos.pdf. [Accessed: 14- Apr- 2019].
- [12] EcoInventos. (2018). Qué es y cómo funciona la energía solar fotovoltaica. [online] Available at: <https://ecoinventos.com/que-es-y-como-funciona-la-energia-solar-fotovoltáica/> [Accessed 17 Mar. 2019].
- [13] Energia Eolica", *Secretaria de Energia Argentina*, 2008. [Online]. Available: http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_eolica.pdf. [Accessed: 02-May- 2019].
- [14] C. Alvarez, "Energia eolica", *Manuales de Energias Renovables*, 2006. [Online]. Available: http://dl.idae.es/Publicaciones/10374_Energia_eolica_A2006.pdf. [Accessed: 13- May- 2019].
- [15] Varnero, .. (2011). Manual de Biogas. [online] Ministerio de Energia de Chile. Available at: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf> [Accessed 2 Feb. 2019].
- [16] Botero, R. (2019). Biodigestores Familiares. [online] Wave.greenpeace.org. Available at: http://wave.greenpeace.org/waveV2public/sites/default/files/attachments/9_manual_biodegistros.pdf [Accessed 9 Apr. 2019].

- [17] Anonimo "Biodigestor", *Ecured.cu*, 2019. [Online]. Available: <https://www.ecured.cu/Biodigestor>. [Accessed: 14- May- 2019].
- [18] Lugari, P. (2019). Fundación Centro Experimental Las Gaviotas. [online] [Centrolasgaviotas.org](http://www.centrolasgaviotas.org/). Available at: <http://www.centrolasgaviotas.org/Inicio.html> [Accessed 3 Apr. 2019].
- [19] Rodriguez Garcia, R. (2019). La Bioconstrucción. [online] [Lacosmopolitana.com](http://lacosmopolitana.com). Available at: <http://lacosmopolitana.com/es/productiva/92-la-bioconstruccion> [Accessed 9 Apr. 2019].
- [20] León, P. (2019). Misión — ORGANIZMO. [online] [ORGANIZMO](http://www.organizmo.org/about). Available at: <http://www.organizmo.org/about> [Accessed 9 Apr. 2019].
- [21] Energy Technology Perspectives. [iea.org](http://www.iea.org). (2014). Energy Technology Perspectives 2014. [online] Available at: <https://webstore.iea.org/download/summary/439?fileName=Spanish-ETP-2014-ES.pdf> [Accessed 17 Mar. 2019].
- [22] [iadb.org](http://www.iadb.org). (2016). Conjunto de Datos: Base de datos de Energía | IADB. [online] Available at: <https://www.iadb.org/es/temas/energia/base-de-datos-de-energia/base-de-datos-de-energia%2C19144.html> [Accessed 16 Mar. 2019].
- [23] M. Varnero Moreno, "Manual del Biogas", *Fao.org*, 2011. [Online]. Available: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>. [Accessed: 10- Mar- 2019]
- [24] H. Fu, G. Li and F. Li, "Performance comparison of photovoltaic/thermal solar water heating systems with direct-coupled photovoltaic pump, traditional pump and natural circulation," *Renewable Energy*, vol. 136, pp. 463-472.
- [25] J.T. de Sousa, K.D. Santos, I.N. Henrique, D.P. Brasil and E.C. Santos, "ANAEROBIC DIGESTION AND THE DENITRIFICATION IN UASB REACTOR," *Journal of Urban and Environmental Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 63-67.
- [26] S.A. Kalogirou and Y. Tripanagnostopoulos, "Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production," *Energy Conversion and Management*, vol. 47, no. 18, pp. 3368-3382.
- [27] V. Piemonte, M. De Falco and A. Basile, "Sustainable Development in Chemical Engineering : Innovative Technologies," 2013.
- [28] E. López Mejía, "Evaluación de proyecto de inversión: viabilidad financiera de la generación de energía fotovoltaica por medio de un huerto solar en Pereira," Jan 1,.

ANEXOS

Anexo A

- **Materiales Para el Aerogenerador**

Anexo 1A



Tubo Metálico 80 cm

Anexo 2A



Tubo Metálico 1m

Anexo 3A



Mega Arandela 6 cm

Anexo 4A



Tuerca para Bicicleta

Anexo 5A



Rin de Bicicleta

Anexo 6A



Tubo de PVC 2 pulgadas

Anexo 7A



Piñón de Bicicleta

Anexo 8A



Cadena de Bicicleta

ANEXO B

- **Materiales para el Biodigestor.**

Anexo 1B



Bidon 60 L

Anexo 2B



Tubo PVC Agua Potable

Anexo 3B



Flanche de 1 pulgada

Anexo 4B



Conector Macho

Anexo 5B



Conector Hembra

Anexo 6B



Codo

Anexo 7B



Manguera de Copolimeros

Anexo 8B



Válvula de Gas

Anexo 9B



Válvula de PVC

Anexo 10B



Conector de Gas

Anexo 11B



Neumático de Automóvil

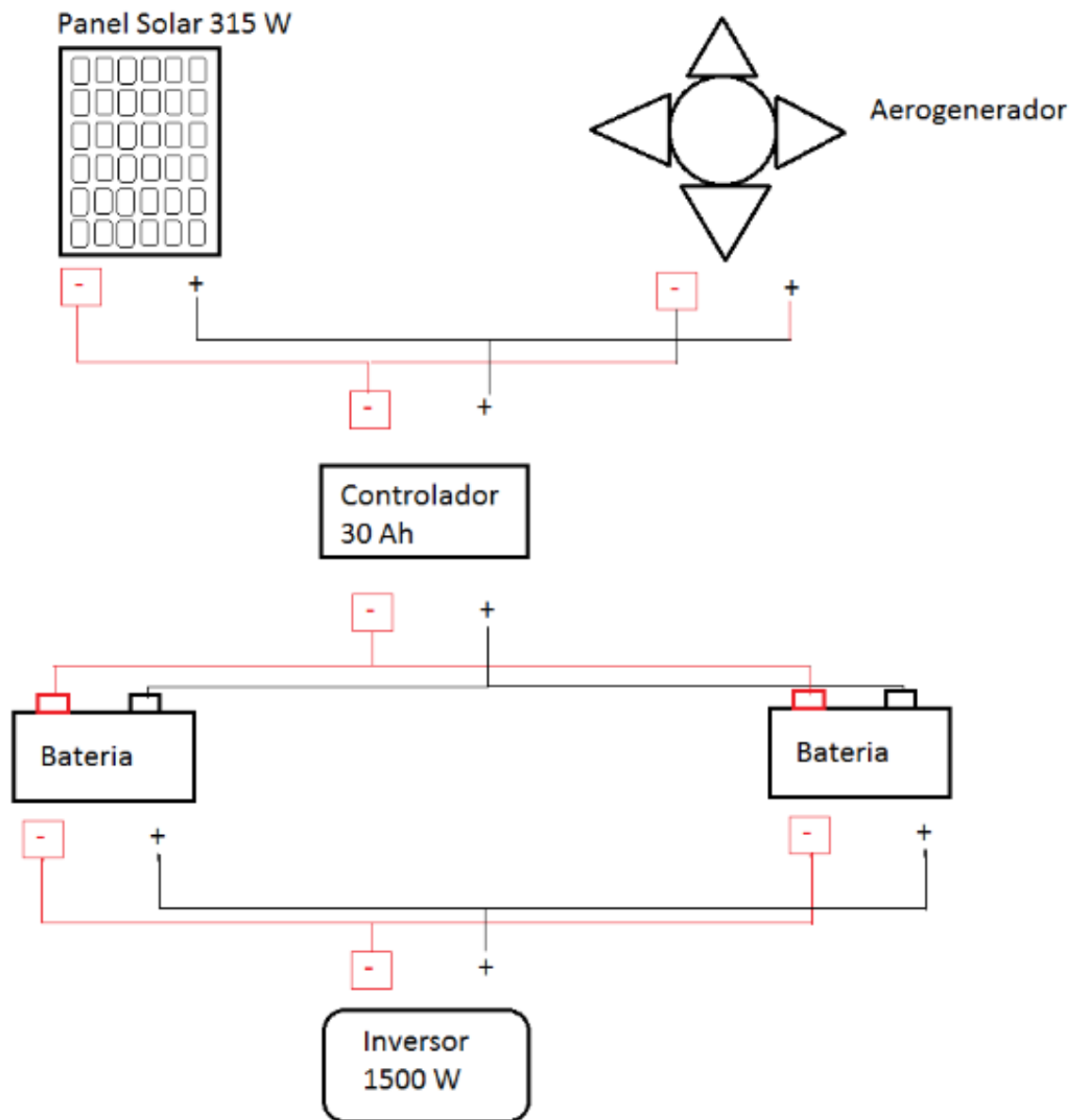
Anexo 13B



Sikaflex

ANEXO C

Esquema de Conexiones del sistema Híbrido



Conexión en Paralelo de los equipos