



UNIVERSIDAD
DE CIENFUEGOS
CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ

FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE ESTUDIOS DE ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO

TITULO: DISEÑO DE UN ESQUEMA DE GENERACIÓN
DISTRIBUIDA EMPLEANDO FUENTES RENOVABLES DE
ENERGÍA PARA LA COMUNIDAD DE BALOMBO-ANGOLA

Autor:

Gaspar Sapalo Sesa

Tutora:

M.Sc. Yamile Díaz Torres

Año 61 de la Revolución
Cienfuegos, 2019



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS



Sistema de Documentación y Proyecto.

Hago constar que el presente trabajo constituye la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Cienfuegos, autorizando a que el mismo sea utilizado por el Centro de Estudio Superior para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de dicha institución.

Firma del autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido según acuerdo de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnico

Nombre y Apellidos. Firma.

Vice Decano.

Firma del Tutor

Nombre y Apellidos. Firma.

Sistema de Documentación y Proyecto.

Nombre y Apellido. Firma.

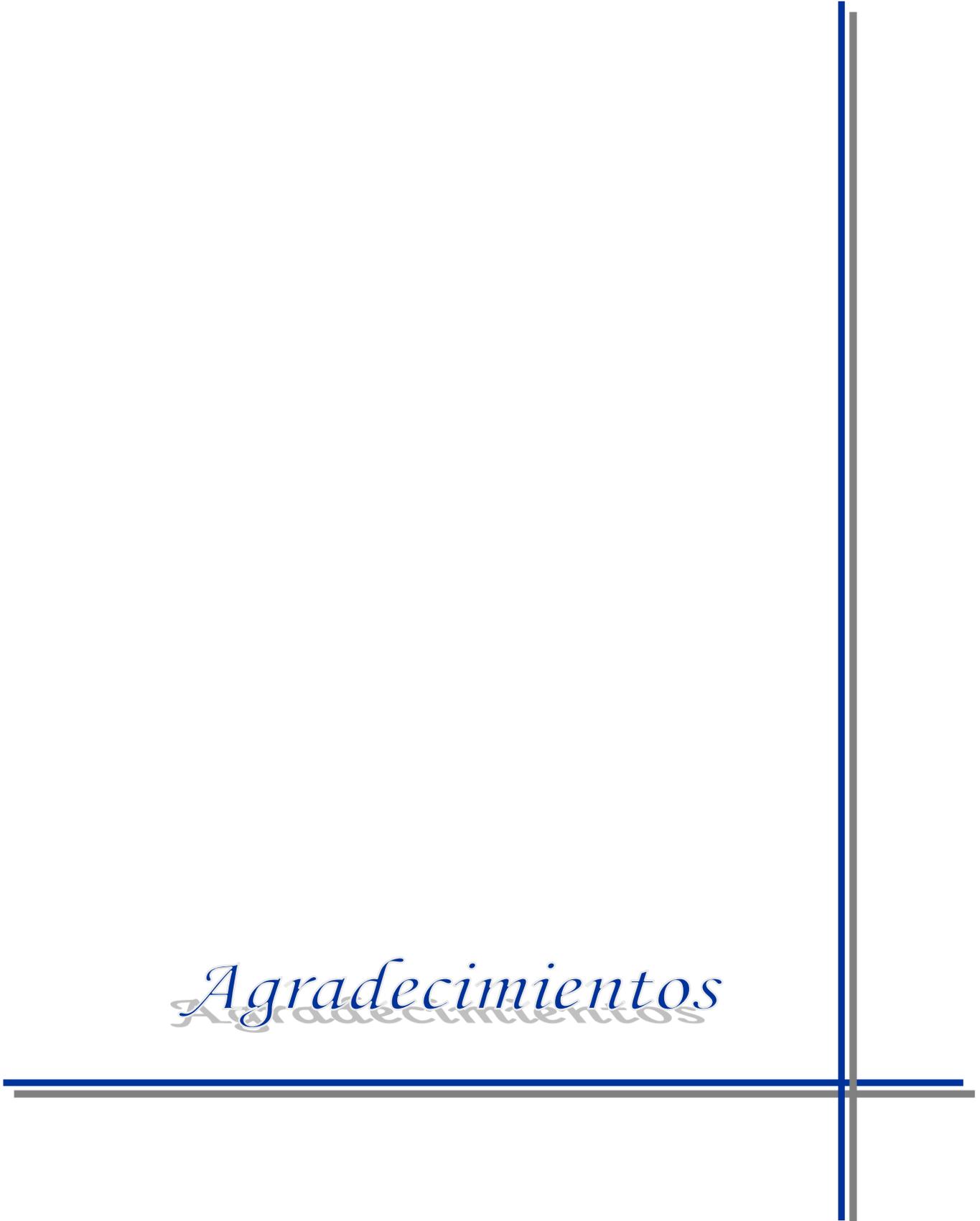
Pensamiento

Pensamiento

“Los países pobres necesitan tener como prioridad la erradicación de la miseria y el desarrollo social de sus habitantes, pero también deben analizar el nivel escandaloso de consumo de algunos sectores privilegiados de su población y controlar mejor la corrupción”.

“Papa Francisco”

Agradecimientos



Agradecimientos

A Dios, el supremo investigador por darme la sabiduría y las fuerzas necesarias para salir adelante en aquellos momentos difíciles.

A mis adorables padres, David Sesa y Domingas Salala; tenerlos aquí y allá es un privilegio. De manera muy especial al Mcs. Yamile Díaz Torres mi tutora de tesis, por el constante respaldo y apoyo brindado para la realización de este trabajo.

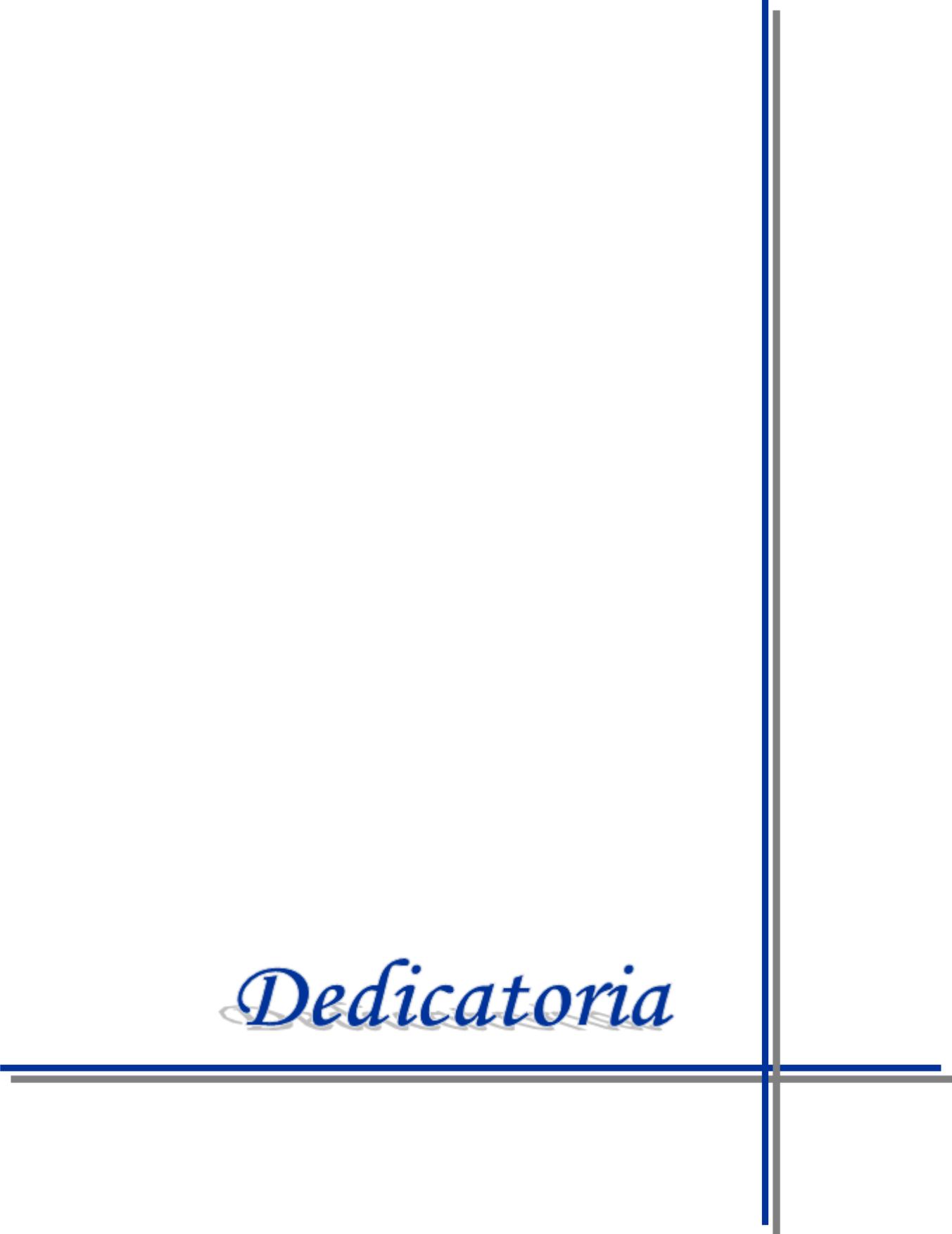
Al gobierno angolano que me dio la oportunidad de formarme en Cuba.

Al departamento de planificación de energía renovable de la Unión Eléctrica - Cienfuegos

A todos mis profesores que durante toda la carrera pusieron toda su voluntad y dedicación, gracias por sus enseñanzas.

¡Muchas Gracias!

Dedicatoria



Dedicatoria

A toda mi familia. Chiveve, Naquinda, Pedro, Fernando, Francisco y Luciana por su respaldo a mis estudios; y a mis amigos Domingos, Pedro, Francisco, José, Damião. A todos mis colegas de la carrera y a todos que de una manera directa o indirectamente contribuyeron a mi formación como Ingeniero.

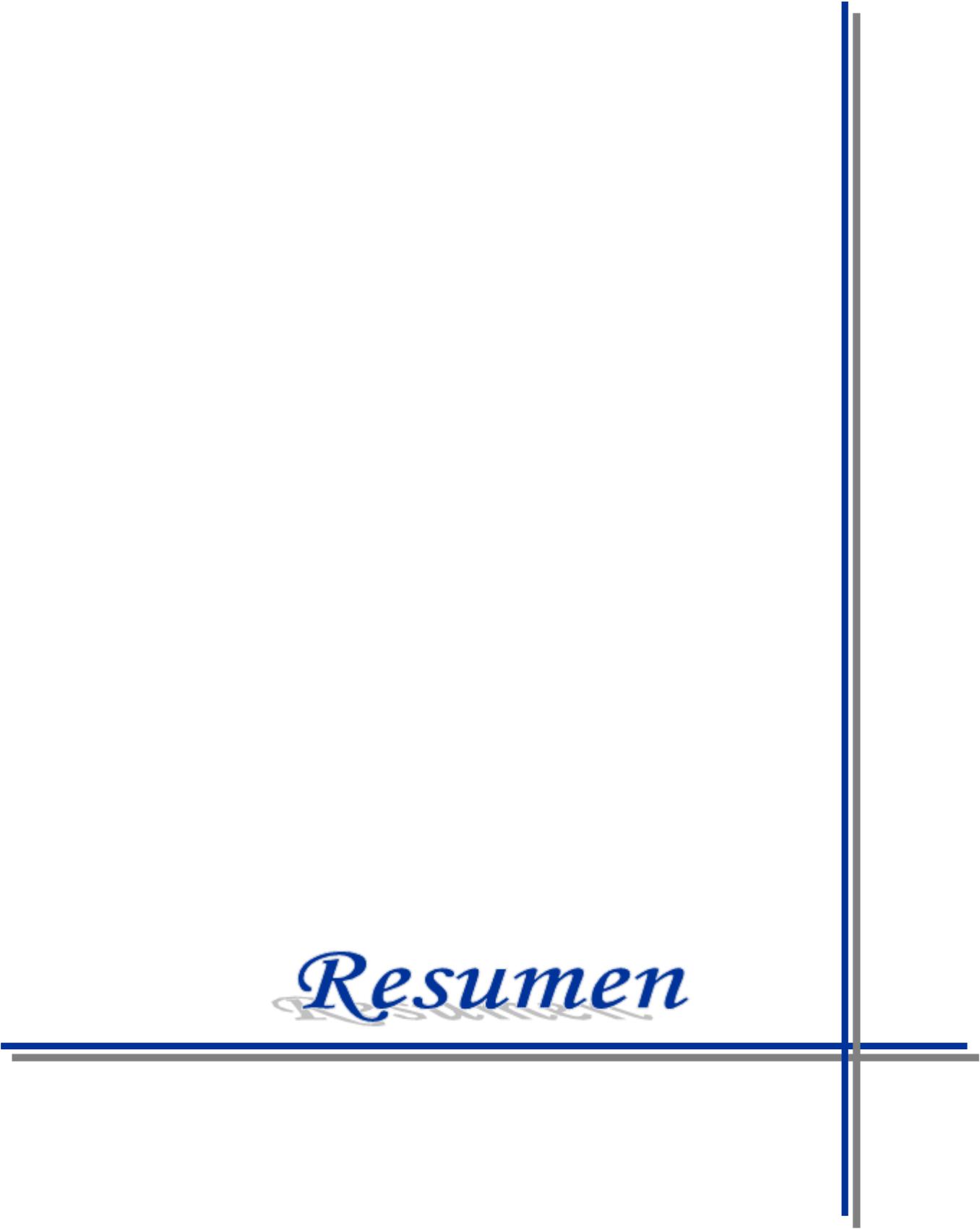
A mis hijos, Verónica N. Sesa y Paulo M. Sesa

A, Elenice M. Celestino

A todos mis hermanos/a de la Diócesis de Cienfuegos

A la Dirección de Relaciones internacionales de la Universidad de Cienfuegos, en la persona de la Lic. Lázara Pérez. Clemente.

Resumen



Resumen:

El desarrollo socioeconómico de cualquier región requiere el empleo de energía eléctrica para el funcionamiento de los diversos sectores de la economía. En el presente trabajo se presenta una propuesta de un esquema de generación distribuida con una fuerte participación de diversas fuentes de energía renovables de que dispone una comunidad aislada que carece del fluido eléctrico proveniente de la red. A partir del análisis de varios perfiles de carga de varias comunidades rurales se construyó el perfil de carga de la comunidad, teniendo en cuenta la carga pico del mismo (Comunidad Balombo, 45 MW demanda pico). Se analizó el potencial de diferentes fuentes renovables de la región. Se dimensionaron los componentes principales de las tecnologías que emplean fuentes renovables. Se efectuó el análisis económico del sistema de generación distribuida compuesto por sistema hidráulico (20,64 MW), biomasa (0.66 MW) y solar (2,5 MW). Se demostró que, aunque se incrementa en un 40% la inversión inicial respecto a un sistema térmico de generación de electricidad, pero el impacto ambiental evitando la emisión diaria de 306 Ton de CO₂, 0.01 Ton de CO y 1.72 Ton de NO_x

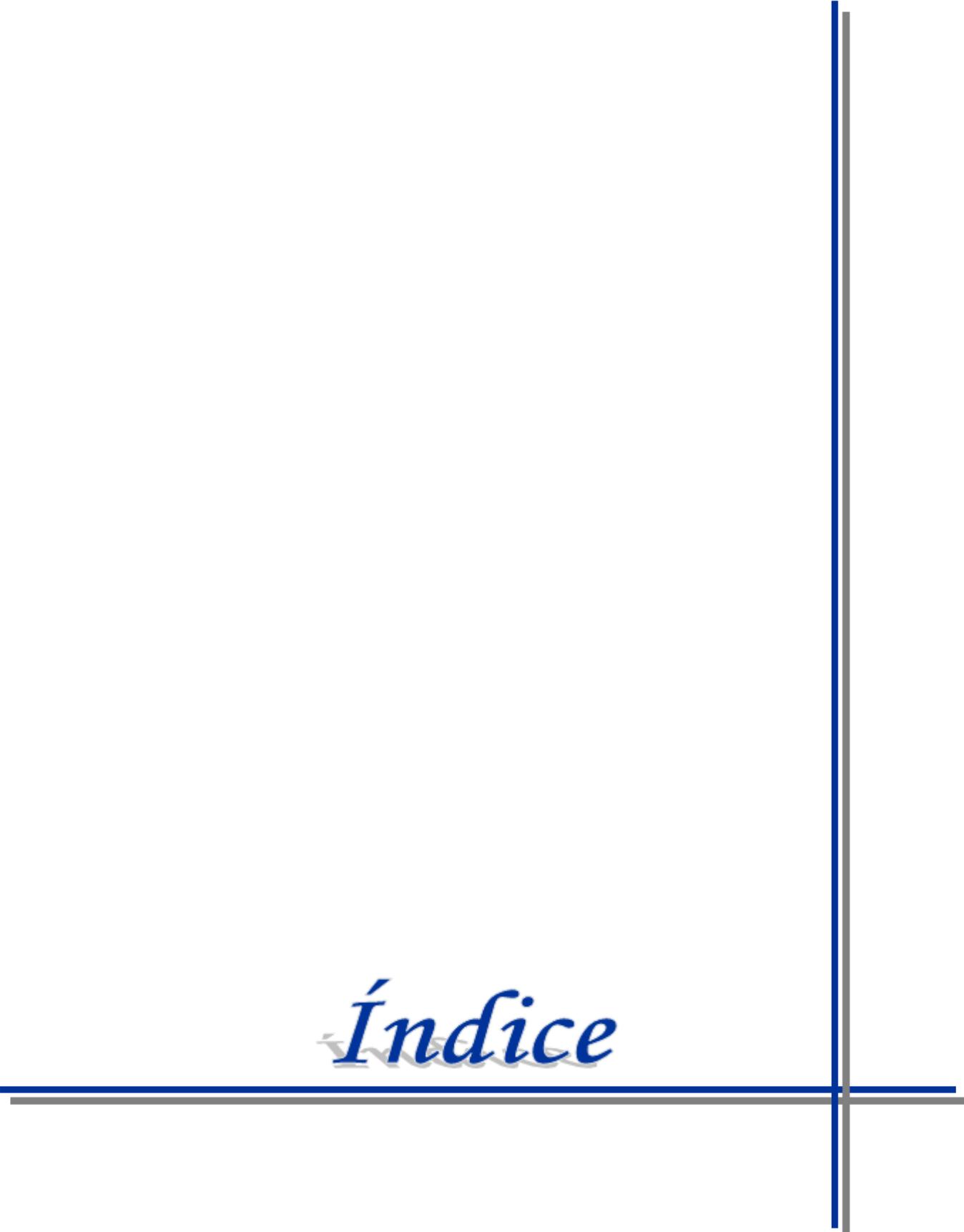
Palabras claves: Energización rural, desarrollo sostenible, generación distribuida, Energía Fotovoltaica, Biomasa, Eólica, Hidráulica

Summary:

The socioeconomic development of any region requires the use of electricity for the operation of the various sectors of the economy. In the present work, a proposal of a distributed generation scheme with a strong participation of diverse renewable energy sources of an isolated community that lacks the electric current coming from the network is presented. Based on the analysis of several load profiles of several rural communities, the load profile of the community was constructed, taking into account the peak load of the community (Balombo Community, 45 MW peak demand). The potential of different renewable sources of the region was analyzed. The main components of the technologies that use renewable sources were dimensioned. The economic analysis of the distributed generation system composed of hydraulic system (20.64 MW), biomass (0.66 MW) and solar (2.5 MW) was carried out. It was shown that, although the initial investment is increased by 40% compared to a thermal system for generating electricity, but the environmental impact by avoiding the daily emission of 306 tons of CO₂, 0.01 tons of CO and 1.72 tons of NO_x

Keywords: Rural energization, sustainable development, distributed generation, Photovoltaic Energy, Biomass, Wind, Hydraulics

Índice



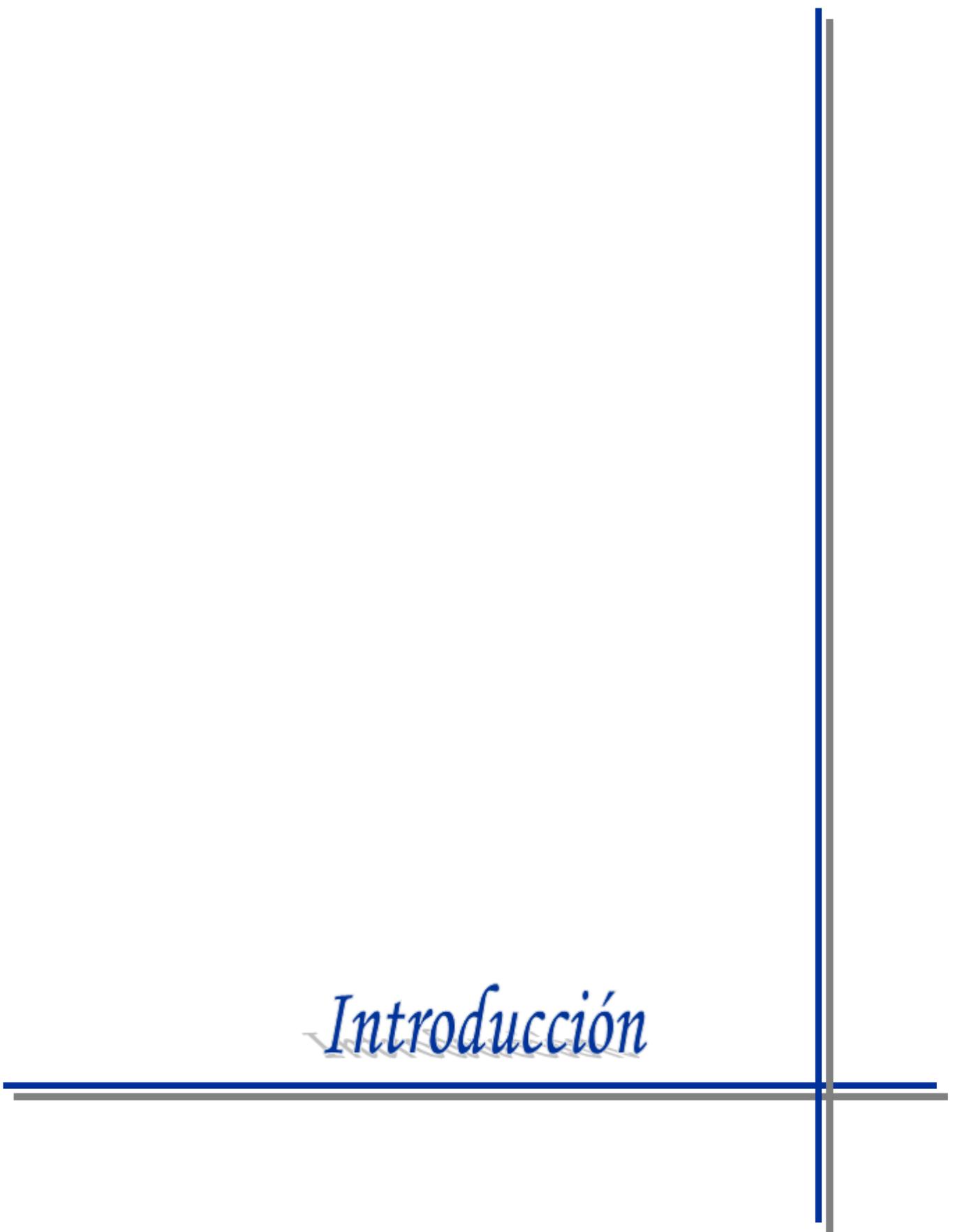
Contenido

Resumen:.....	i
Introducción:.....	1
Problema Científico.....	2
Hipótesis.....	2
Objetivo general:	2
Objetivos específicos:	2
CAPITULO I Revisión Biográfica.....	4
1.1 Energización y desarrollo.....	4
1.2 Energización rural mediante el uso de energías renovables.....	5
1.3 Estado de las energías renovables en el mundo.....	7
1.4 Tecnologías de aprovechamiento de energía en los sistemas distribuidos.....	9
1.4.1 Sistemas de energía solar fotovoltaica.....	9
1.4.2 Tipologías de instalaciones solares fotovoltaicas:.....	9
1.4.2.1 Sistemas aislados de energía solar fotovoltaica:	9
1.4.2.2 Centrales de generación conectadas a la red:.....	10
1.4.3 Centrales de energía solar FV	11
1.4.4 Tecnologías de fabricación de células solares.....	12
1.4.5 Aplicaciones de sistemas fotovoltaicos	13
1.5 Las centrales hidroeléctricas o hidráulicas	14
1.5.1 Clasificación de las centrales hidroeléctricas por su tipo de embalse.....	14
1.6 La biomasa y su origen	15
1.7 Descripción de un biodigestor	16
1.7.1 Materiales, tipos y aplicaciones de biodigestores	16
1.8 Sistemas de almacenamiento de energía	18
1.9 Experiencia de energización rural mediante el uso de energías renovables	19
1.10 Conclusiones parciales del Capítulo I.....	22
CAPITULO II MATERIALES Y METODOS	23
1. Marco metodológico	23
2.1 Enfoque de la investigación	23
2.2.1 Requerimientos específicos	24
Fase I. Determinación de la demanda eléctrica de la comunidad	26

Fase II. Establecer el perfil de carga eléctrica de la comunidad.	26
Fase III. Identificar y analizar la disponibilidad del recurso solar, hidráulico y de la biomasa en la comunidad de Balombo.	27
Fase IV. Diseñar el esquema de generación distribuida empleando las fuentes de energías renovables.....	27
Fase V. Realizar estudio de inversión inicial e impacto ambiental para la implementación del sistema.	27
2.1.2 Calcular el número máximo, mínimo de módulos en serie y ramas en paralelo	28
2.2 Selección del inversor	29
2.3 Arreglo espacial del campo fotovoltaico	30
2.4 Angulo de inclinación	30
2.5 Distancia mínima entre filas de módulos.....	30
2.6 Simulación energética de la potencia eléctrica a la salida de un campo fotovoltaico.....	32
2.11.1 Agua necesaria para la mezcla.....	34
2.11.2 Tiempo de retención de la biomasa	35
2.11.3 Producción de biogás y equivalencias	36
2.7 . Capacidad de almacenamiento (banco de baterías).....	37
2.8 . Evaluación de Tecnologías de Almacenamiento de Energía para la Integración de Energía.....	37
2.8.1 Evaluación de Tecnologías de Almacenamiento de Energía	37
2.12 Conclusiones parciales del Capítulo II	40
CAPÍTULO III CASO DE ESTUDIO	41
3.1 Introducción al capítulo	41
3.2 Característica Regional.....	41
3.3 Situación energética de Angola	41
3.3.1 Potencialidades de los recursos renovables en Angola.....	43
3.4 Característica de la comunidad de Balombo, provincia de Benguela. ...	45
3.4.1 Determinación de la demanda eléctrica de la comunidad	46
3.4.2 Perfil de carga eléctrica de la comunidad.	47
3.5 Identificación y análisis de las disponibilidades de los recursos energéticos en la comunidad.	48
3.5.1 Cuantificación de potencial energético	48
3.6 Sistema de generación de energía solar	49

3.7	Dimensionamiento del parque fotovoltaico.	49
3.8	Sistema de generación de biogás.....	52
3.8.1	Planta de generación eléctrica empleando biogás	52
3.9	Potencial teórico total proyectado	53
3.10	Almacenamiento de energía	54
3.11	Inversión inicial e impacto ambiental	57
3.12	Conclusiones parciales del capítulo III.....	59
3.13	Conclusiones generales.....	60
3.14	Recomendaciones	60
	Bibliografía	61
	Anexos.....	65

Introducción



Introducción:

Actualmente, casi dos mil millones de personas concentradas en la periferia de los centros urbanos y zonas rurales aisladas no tienen acceso a servicios energéticos básicos. Esta es la paradoja energética que caracteriza el siglo XXI. A su vez esta desigualdad ante la energía afecta en particular a dos tercios de la población africana, que en gran medida depende de la biomasa tradicional para su abastecimiento energético (Unión Africana, 2010).

Angola es un país del continente africano de 24 383 301 habitantes. Este país consumido por más de dos décadas de guerra provocando miles de muertes, destrucción de ciudades y de estructuras energéticas. A pesar del esfuerzo del gobierno, un 58 % de la población se encuentra sin electricidad. (Interlusófona, 2018). Esta carencia de energía eléctrica, ha provocado retraso en el desarrollo social, productivo y económico del país, especialmente en las comunidades rurales donde no es factible en mucho de los casos el suministro de la electricidad por expansión de la red.

La comunidad rural de Balombo es uno de los 10 municipios de la provincia de Benguela – Angola. Posee más de 99 321 habitantes (Estatística, 2014) y actualmente, su sistema de servicio energético es un generador de diésel de 0.55 MW, que sólo cubre menos del 2% de la demanda que se requiere para la comunidad, impidiendo así su desarrollo económico, productivo y social.

Por otro lado Angola es uno de los países con grandes potenciales energéticos (Ministério da Energia e Águas, 2014). El mayor peso lo ocupan sus recursos hídricos estimados en 18 GW. Posee una irradiación solar que varía de 160 a 250 W/m^2 al año. En algunas zonas del país las velocidades del viento pueden llegar hasta 5,2 m/s en una altura de 40 m. Además, también cuenta con un potencial en los residuos procedentes de la biomasa con: residuos forestales y cultivos energéticos; residuos de industrias agroalimentarias (con destaque para la caña de azúcar); residuos agrícolas y ganaderos; residuos urbanos e industriales biodegradables, entre otros.

La electrificación rural usando FRE (Fuentes Renovables de Energía) se ha convertido en una de las opciones más atractivas debido a los múltiples beneficios y la disminución de sus costos. Los beneficios de impulsar el desarrollo local a través de las FRE van más allá del impacto económico, pues mejoran la calidad de vida de sus habitantes y disminuyen el impacto ambiental asociado a la generación de energía por medio de los combustibles fósiles. En este contexto se considera que el diseño de un esquema de generación distribuida empleando fuentes renovables de energía para la comunidad de Balombo permitirá satisfacer sus necesidades energéticas, constituyéndose el siguiente problema científico:

Problema Científico

El sistema de generación eléctrica en la comunidad rural de Balombo no satisface las necesidades energéticas, tan poco se considera el potencial de fuentes renovables de energía que posee para incrementar el mismo.

Hipótesis

Si se aprovecha adecuadamente los recursos energéticos locales, se podrá diseñar un esquema de generación distribuida empleando fuentes renovables de energía para la comunidad de Balombo.

Objetivo general:

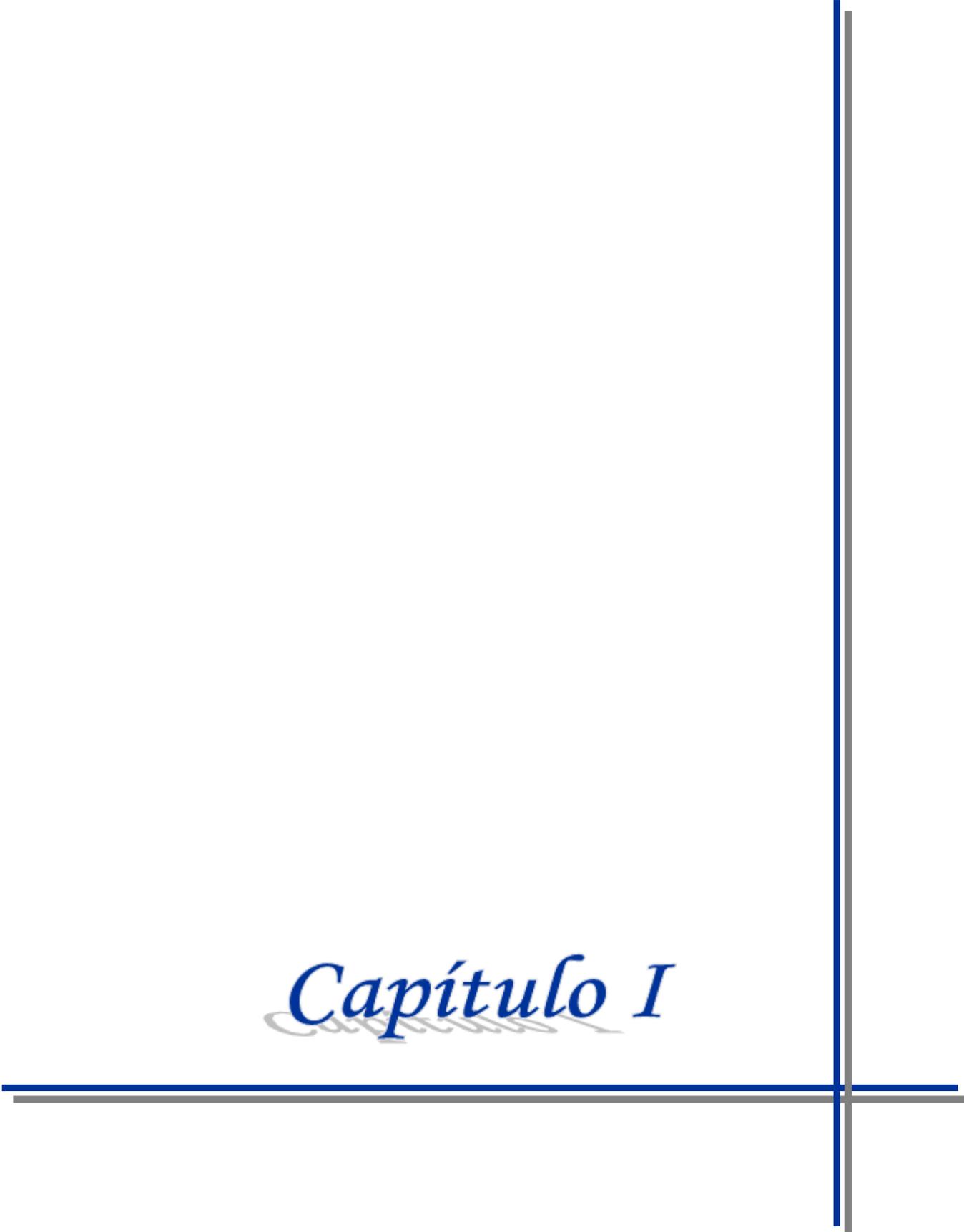
Diseñar un esquema de generación distribuida empleando fuentes renovables de energía para la comunidad de Balombo.

Objetivos específicos:

1. Realizar una búsqueda bibliográfica acerca de los sistemas de generación eléctrica, basado en el recurso renovable.
2. Determinar la demanda eléctrica de la comunidad.
3. Establecer el perfil de carga eléctrica de la comunidad.
4. Identificar y analizar las disponibilidades de los recursos solar, hidráulico y de la biomasa en la comunidad de Balombo, para calcular el potencial energético a partir de dichas fuentes de energía renovables.
5. Diseñar el esquema de generación distribuida empleando las fuentes de energía renovables.

6. Comparar desde el punto de vista económico y ambiental el sistema de generación distribuida con el empleo de las FRE con respecto a un sistema convencional compuesto por un grupo electrógeno.

Capítulo I



CAPITULO I Revisión Biográfica

1.1 Energización y desarrollo.

El desarrollo de la humanidad se basa en el empleo de la energía eléctrica para satisfacer sus necesidades, según (Vicuña & Pizarro, 2015), en su trabajo de presentación al III Simposio Internacional Historia de la electrificación. Estrategias y cambios en el territorio y la sociedad. Plantea que: las entidades como la Organización de Naciones Unidas o el Banco Mundial enfatizan el acceso a los servicios energéticos modernos como un instrumento más, para la reducción de la pobreza y la evolución de las condiciones de vida de la población mundial (Organización de la Naciones Unidas, 2010). En este sentido, el acceso a la energía eléctrica ha sido una preocupación permanente en los países en vías de desarrollo, tanto para los gobiernos como para las localidades rurales. La energización es una herramienta clave para su progreso económico, social y humano. En el caso de las comunidades rurales sus posibilidades de desarrollo equitativo por falta de oportunidades económicas y sociales derivadas del limitado acceso a la electricidad son restringidas (COUNCIL, 2006).

Diversos estudios confirman lo anterior, apuntando los impactos positivos del acceso y uso de la electricidad en la calidad de vida de los hogares rurales (COOK, 2011), (O'NEILL & ELLIS-JONES, 2002). Algunos autores destacan los efectos del desarrollo de la infraestructura y tecnología energética, la solar, por ejemplo, en la calidad de la educación, ya que mejoran las condiciones de estudio y la cantidad de tiempo dedicada por los estudiantes a las tareas escolares. Otros aportes (CHERNI, 2009), (FREITAS & PEREIRA, 2010) enfatizan la evolución de las condiciones de salud (recuperación de la capacidad respiratoria y problemas visuales) de las familias como resultado del empleo de electricidad y la disminución del uso de otras fuentes de energía como la leña o el carbón vegetal.

El acercamiento del suministro eléctrico a las poblaciones alejadas de los centros urbanos no sólo mejora sus condiciones de salud y educación, sino que estos servicios se apoyan directamente en la disponibilidad y accesibilidad a la electricidad. Además, la energía eléctrica facilita el acceso a otros servicios como el

agua potable y las comunicaciones. Estos servicios nuevos o mejorados provocan cambios en las formas de vida, y significan un incremento en las posibilidades y oportunidades de los individuos y los colectivos sociales. En la figura 1.1, constan los aspectos valorados por la comunidad con la llegada del servicio eléctrico

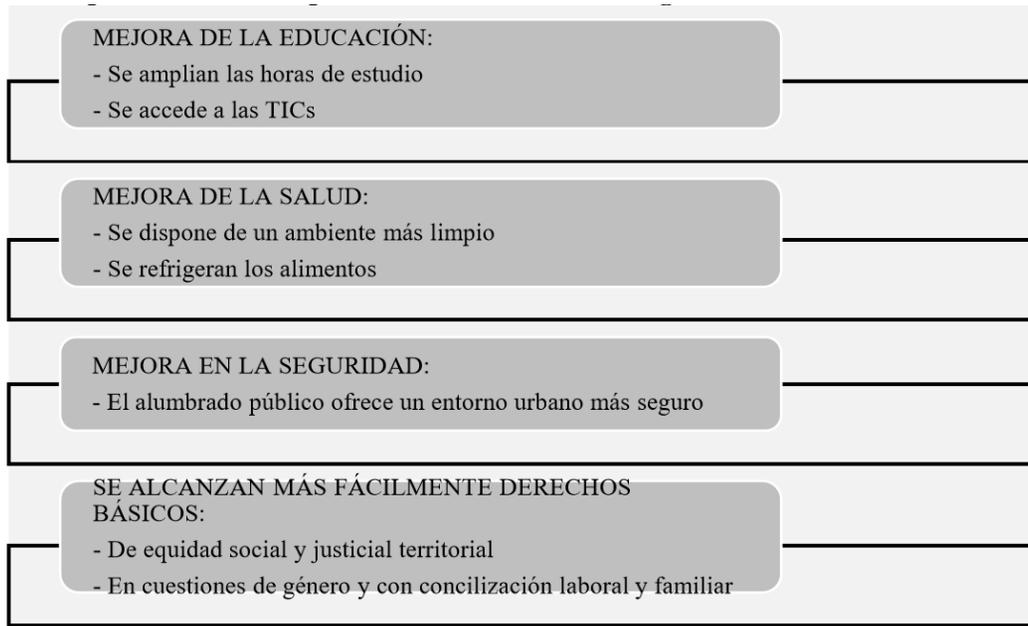


Figura: 1.1 Aspectos valorados por la comunidad con la llegada del servicio eléctrico

Fuente: (Vicuña & Pizarro, 2015)

Sin duda, la electrificación rural genera sinergias positivas en torno a la creación de actividades industriales de base agrícola en las zonas rurales (BHATTACHARYYA, 2006). A partir de su uso, se contribuye a la reducción de la pobreza, ya que en base a una mayor potencia y energía eléctrica es posible mejorar y diversificar la producción y favorecer la generación de empleo rural en actividades no tradicionales (COOK, 2011).

1.2 Energización rural mediante el uso de energías renovables

Varias organizaciones en el mundo han planteado la problemática de la escasez energética en desarrollo de las comunidades, así que (Agency, 2011) plantea, que el abastecimiento de energía a las personas que se encuentran en situación de pobreza, resultaba ser un elemento *sine qua non* (expresión latina que significa 'sin

la cual no' y se aplica a una condición que necesariamente ha de cumplirse o es indispensable para que suceda o se cumpla algo) para el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Así pues, quedó claro que, ante la falta de servicios energéticos confiables, se torna casi imposible la provisión de servicios de salud y educación de calidad, el acceso al agua limpia se ve seriamente limitado y la seguridad alimentaria se vea afectada de forma adversa. Esta situación se posicionó como una grave amenaza para el logro de los objetivos de desarrollo de cada país, al limitar severamente el alcance de cualquier intervención orientada a mitigar la pobreza y mejorar la calidad de vida de las personas. Justamente, este hecho llevó a muchos a preguntarse si el acceso sostenible a la energía debería considerarse también entre los ODM (Biol, 2011).

Luego, en el año 2011, la ONU dio inicio a la iniciativa Energía Sostenible para Todos (SE4All por sus siglas en inglés) con el fin de movilizar a todos los sectores de la sociedad hacia el objetivo de acabar con la falta de acceso a servicios energéticos. La ONU buscó reconocer expresamente el papel fundamental de la energía sostenible "llamada energización" en el proceso de desarrollo y posicionarla como uno de los elementos determinantes en la lucha contra la pobreza. Se reiteró la necesidad prioritaria de asegurar el acceso al servicio de energía sostenible para las poblaciones pobres; se instó a que los servicios energéticos ofrecidos en estas poblaciones fomenten la productividad y contribuyan al desarrollo económico, sustentable; y se recomendó, en tanto sea posible, la utilización y la innovación en el uso de fuentes de energía renovable; así como la difusión de tecnologías menos contaminantes y la optimización de la infraestructura eléctrica para contribuir a la eficiencia energética, entendida como el uso de una cantidad de menor energía para proveer el mismo nivel de servicio y que ha devenido en una política global. El discurso sobre energía sostenible responde entonces a una iniciativa que busca acabar con la pobreza energética y para ello propone como alternativa el acceso universal a la energía sostenible (Granados L. Silva, 2013)

Finalmente, en septiembre del año 2015, la energía se posicionó como eje primordial de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), al ser declarado el objetivo 7 "Energía Asequible y no contaminante", a través del cual se espera poder

contribuir a la eliminación de la pobreza, lograr la equidad y asegurar la sostenibilidad del planeta.

1.3 Estado de las energías renovables en el mundo.

La matriz energética mundial en la figura 1 2, expone que el 81,7% del consumo energético mundial es combustibles fósiles y nucleares, 9,0% es la biomasa tradicional y sólo un 9,3% es de las nuevas fuentes de energías renovables. Ante este escenario las perspectivas actuales plantean su duplicación para el año 2030.

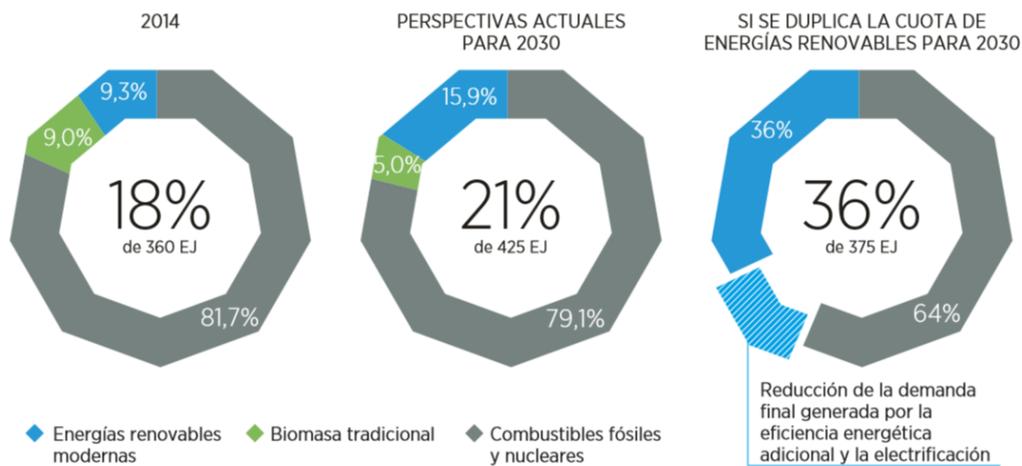
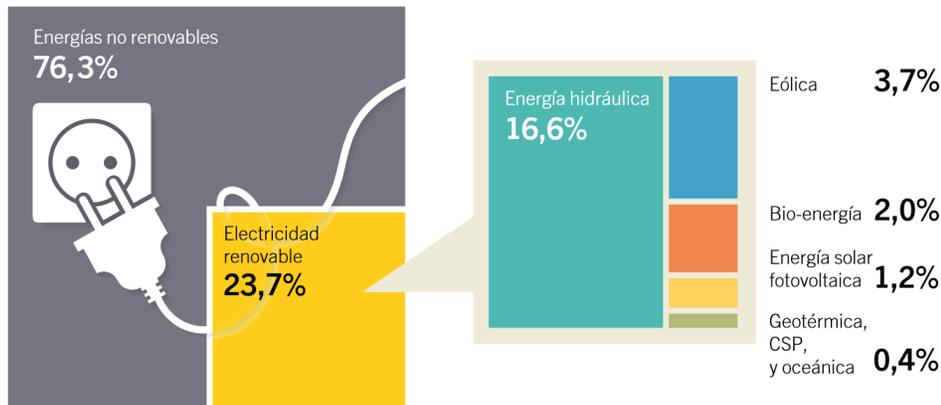


Figura 1.2 Cuota estimada y prevista de las energías renovables en el consumo final de energía, en 2014 y 2030, con las perspectivas actuales y con la hipótesis de su duplicación (IRENA, 2017)

El sector eléctrico experimentó el mayor incremento anual de la historia en términos de capacidad, con un crecimiento significativo en todas las regiones. La energía eólica y la solar fotovoltaica, tuvieron records adicionales por segundo año consecutivo, representando alrededor del 77% de las nuevas instalaciones, mientras que la energía hidroeléctrica representó la mayor parte del resto. Actualmente, el mundo entero suma más capacidad de electricidad renovable al año que la capacidad (neta) de todos los combustibles fósiles combinados. A finales del 2015, la capacidad de energía renovable era suficiente para abastecer aproximadamente el 23.7% de la electricidad mundial, en conjunto con la energía hidráulica, que proporciona alrededor del 16.6% (fig. 1.2.1).

Participación estimada de energía renovable en la producción de electricidad a nivel mundial, finales de 2015



Basado en la capacidad de generación de energía renovable a finales de 2015. Los porcentajes no corresponden a la suma total debido al redondeo.

Figura: 1.2.1 Energía renovable en la producción de electricidad a nivel mundial

Fuente: (REN21, 2016)

En 2015 se comisionó una nueva capacidad de energía hidráulica de aproximadamente 28 GW (con excepción del almacenamiento por bombeo), aumentando así la capacidad mundial total a unos 1.064 GW. Se calcula que la producción mundial aumentó al menos 1% con respecto al 2014, es decir, alrededor de 3.920 TWh. Las constantes sequías continuaron afectando de manera negativa a la producción de energía hidroeléctrica en muchas regiones, incluyendo América y el sureste de Asia.

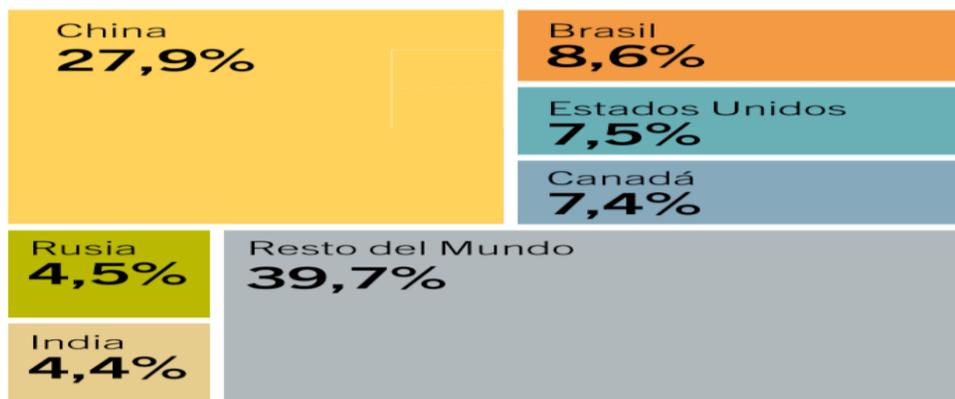


Figura: 1.2.2 Capacidad de energía hidráulica mundial .Fuente: (REN21, 2016)

1.4 Tecnologías de aprovechamiento de energía en los sistemas distribuidos

En base a los tres tipos de energías renovables solar, hídrica y biomasa, que se evaluarán en este trabajo, se analizarán los sistemas de aprovechamiento de cada uno de ellos para la obtención de energía eléctrica. A continuación se dará una descripción de los sistemas de captación de las energías solares, hídrica y de la biomasa.

1.4.1 Sistemas de energía solar fotovoltaica

1.4.2 Tipologías de instalaciones solares fotovoltaicas:

Cuando se plantea la instalación de generadores de energía solar fotovoltaica, fundamentalmente se atiende a dos razones principales:

- La necesidad de proporcionar energía eléctrica a una zona aislada o de difícil acceso para la red de distribución.
- La posibilidad de inyectar energía eléctrica a la red de distribución.

En función de estos criterios, existen dos tipologías básicas de instalaciones fotovoltaicas:

1.4.2.1 Sistemas aislados de energía solar fotovoltaica:

Gracias a esta tecnología podemos disponer de electricidad en lugares alejados de la red de distribución eléctrica. De esta manera, podemos suministrar electricidad a casas de campo, refugios de montaña, bombeo de agua, instalaciones ganaderas, sistemas de iluminación o balizamiento, sistemas de comunicaciones, etc. Los sistemas aislados se componen principalmente de captación de energía solar mediante paneles solares fotovoltaicos y almacenamiento de la energía eléctrica generada por los paneles en baterías (figura 1.3)

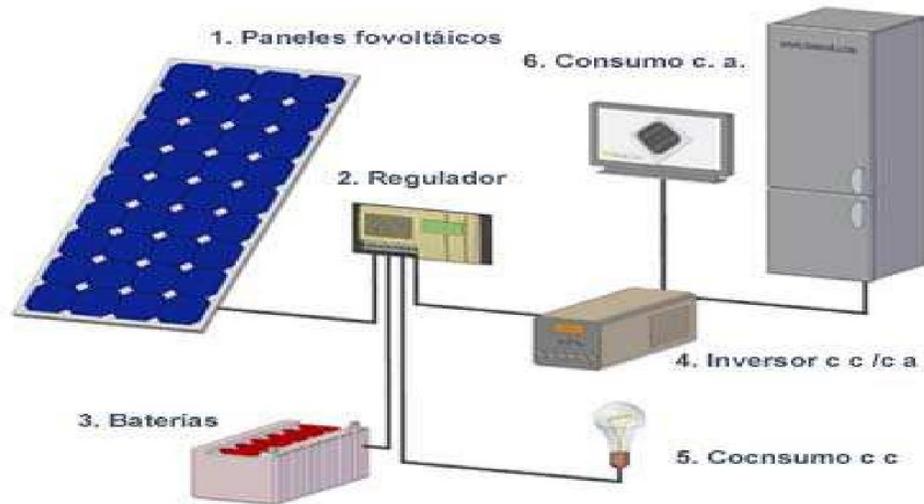


Figura 1.3 Sistemas aislados de energía solar fotovoltaica

1.4.2.2 Centrales de generación conectadas a la red:

Esta aplicación consiste en generar electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos e inyectarla directamente a la red de distribución eléctrica.

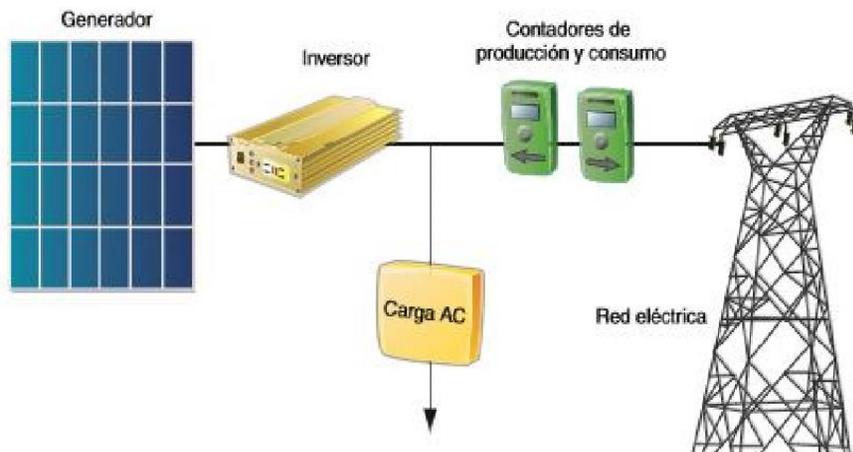


Figura 1.3.1 Componentes de una instalación fotovoltaica conectada a la red.

Fuente: (Cepeda, 2016)

1.4.3 Centrales de energía solar FV

Una central solar FV, básicamente es la agrupación de instalaciones solares FV instaladas en un mismo lugar y conectadas a la red eléctrica para la venta de toda la energía generada a la compañía eléctrica establecida (ver figura 1.3.2). Consta de un conjunto de elementos que son: el generador solar (paneles FV), regulador de carga, inversor, acumuladores y todos los sistemas necesarios para la correcta generación de la energía eléctrica, pudiendo prescindir de uno o algunos de estos, teniendo en cuenta el tipo, tamaño de la carga a alimentar y el lugar de la instalación.



Figura: 1.3.2 Esquema básico de una central FV (ARBOLEDA & MADRIGAL, 2009)

Las principales centrales fotovoltaicas del mundo se encuentran dentro de Europa, y más concretamente, en Alemania. En la actualidad, muchos de los países intentan romper una marca mundial en cuanto a la energía solar FV. En la mayoría de las regiones de Europa operan centrales FV, por ejemplo en Erlasee (Alemania) se cuenta con una central de 12 MW, en España el mayor parque solar fotovoltaico, tiene una potencia nominal instalada de 23 MW y una producción anual de 44 MWh, el equivalente al consumo de 135.000 familias; y hasta diciembre de 2008 la mayor planta FV del mundo, se encontraba ubicada en Amareleja, Portugal (figura 1.3.3) con 46 MW pico de potencia y una producción anual de 93 millones de kWh, ocupa una superficie de 250 hectáreas y consta de 262 080 módulos fotovoltaicos; es la mayor central conectada a la red en el mundo y evitará la emisión de 89.383 toneladas anuales de dióxido de carbono (CO₂) en centrales de carbón (ARBOLEDA & MADRIGAL, 2009)



Figura 1.3.3 Centrales fotovoltaicas

1.4.4 Tecnologías de fabricación de células solares

Los módulos fotovoltaicos están compuestos por células solares, estas comúnmente se fabrican de silicio ya que este material existe en gran abundancia en la tierra, cuenta con una baja tasa de contaminación, presenta una alta durabilidad en el tiempo y cuenta con sobresalientes propiedades físicoquímicas (C. E. C. Nogueira, 2015). Las células de silicio se pueden clasificar en tres tipos dependiendo su proceso de fabricación y de su eficiencia: Celdas solares mono-cristalinas, policristalinas y de película delgada o amorfas fig.1.3.4

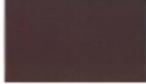
CÉLULA		EFICIENCIA EN LABORATORIO	EFICIENCIA DIRECTA
	Mono-cristalina	24%	14-17 %
	Poli-cristalina	19-20%	11-14%
	De película delgada (amorfas)	16%	<10%

Fig. 1.3.4 Células mono-cristalinas, poli-cristalinas, de película delgada y sus eficiencias (Basnet, 2012); (Mohiabadi, 2017).

El hecho de este rendimiento tan bajo se debe fundamentalmente a los siguientes factores:

- a) Energía insuficiente de los fotones incidentes.
- b) Pérdidas por recombinación.
- c) Pérdidas por reflexión.
- d) Pérdidas por los contactos eléctricos.
- e) Pérdidas por resistencia serie.

1.4.5 Aplicaciones de sistemas fotovoltaicos

La electricidad producida por los módulos se utiliza de diferentes formas según sea su aplicación. Los principales usos de la E.S.F. son la electrificación de lugares aislados de la red eléctrica (viviendas, sistemas de control remoto, telecomunicaciones, rótulos luminosos, farolas, embarcaciones, alarmas, etc.) el bombeo solar directo y la conexión a red como se ilustra en la figura 1.3.5

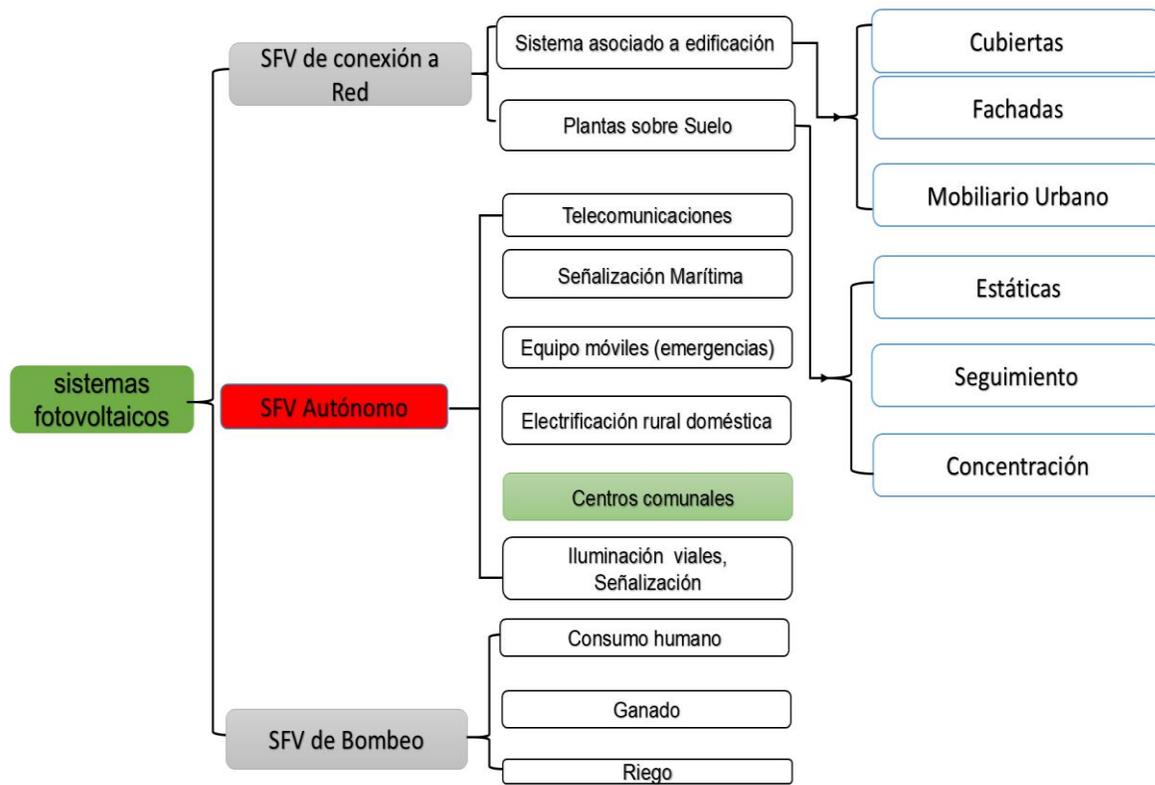


Figura 1.3.5 Aplicaciones de sistemas fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia

1.5 Las centrales hidroeléctricas o hidráulicas

Las centrales hidroeléctricas son instalaciones que permiten aprovechar la energía potencial gravitatoria contenida en la masa de agua que transportan los ríos para convertirla en energía eléctrica, utilizando turbinas acopladas a generadores.

Figura. 1.4

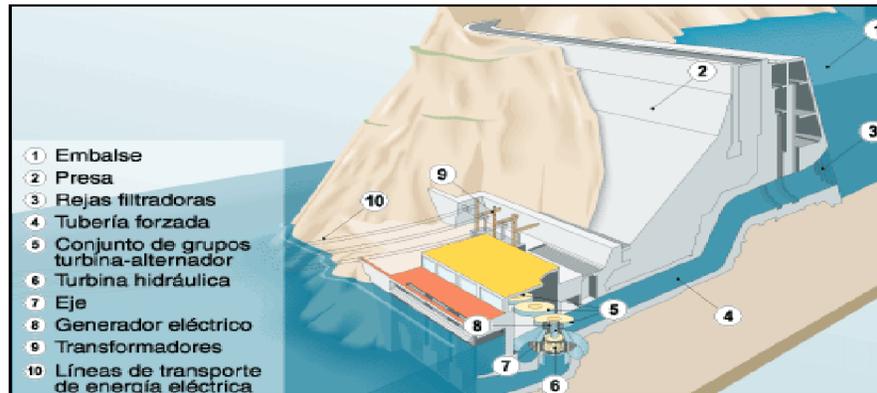


Figura: 1.4 Central hidroeléctrica. (Carolina & Óscar, 2015)

1.5.1 Clasificación de las centrales hidroeléctricas por su tipo de embalse.

En el proceso de generación de energía eléctrica, la energía potencial del agua almacenada en el embalse es transformada en energía cinética y energía de presión dinámica por el paso del agua a través de conductos forzados (Carolina & Óscar, 2015).

Las plantas hidroeléctricas se pueden clasificar dependiendo principalmente del tipo de abastecimiento de agua, existen básicamente 3 tipos de centrales, éstas son:

1. Plantas hidroeléctricas con abastecimiento de agua corriente.
2. Plantas hidroeléctricas con abastecimiento de agua mediante vaso de almacenamiento.
3. Plantas hidroeléctricas con abastecimiento de agua mediante bombeo.
4. Plantas hidroeléctricas de menor generación (Mini hidráulicas).

Según la potencia instalada, las centrales hidroeléctricas pueden ser:

- Centrales hidroeléctricas de gran potencia: más de 10MW de potencia eléctrica.
- Mini centrales hidráulicas: entre 1MW y 10MW.
- Micro centrales hidráulicas: menos de 1MW de potencia.

1.6 La biomasa y su origen

La biomasa es toda materia orgánica en su estado inicial o aquella procedente de la transformación natural o artificial de la misma. La bioenergía o energía de la biomasa, corresponde a toda la energía proveniente de la quema directa de materia orgánica o a través de los combustibles derivados de ésta (ya sea en estado gaseoso como el biogás o en forma líquida como los biodiesel). El hecho de que se trate de una transformación reciente, excluye de este grupo a los combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo o el gas natural. Según su origen la biomasa puede clasificarse en:

Natural: Corresponde a toda la materia orgánica que se encuentra en la naturaleza sin ningún tipo de intervención humana como, por ejemplo, el material orgánico muerto en un bosque.

Residual: Proveniente de procesos orgánicos (como los agropecuarios) o artificializados (como los agroindustriales). Algunas veces esta biomasa puede tener algún valor, y es posible su recolección, pasando de ser un residuo, a un insumo productivo.

Agrícola: Corresponde a la biomasa de cultivos agrícolas.

En este estudio se analizó la biomasa residual agropecuaria disponible en la comunidad con potencial para generación de biogás, clasificándola como biomasa residual húmeda y biomasa residual sólida.

1.7 Descripción de un biodigestor

Un biodigestor es un estanque o contenedor cerrado, hermético e impermeable (también llamado Reactor), dentro del cual se deposita el sustrato (material orgánico a fermentar como excrementos de humanos y animales, purines, hojas, pasto, frutas y desechos vegetales) agregando agua a la mezcla. Dentro del biodigestor se produce la descomposición anaeróbica, de la cual se obtiene Biogás y Biofertilizante. Este sistema también puede incluir una cámara o estanque de carga, una cámara o sistema de decantación antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás, sistemas de agitación y calefacción dentro del biodigestor y cámaras o estanques de acumulación post tratamiento a la salida del biodigestor (Grothusen & Rosenberg, 2016). En la figura 1.5, se muestra esquemáticamente el ingreso de sustrato al biodigestor, la salida de digestato y la salida de biogás desde la parte superior del biodigestor (Gasómetro) hacia un Grupo Electrónico.

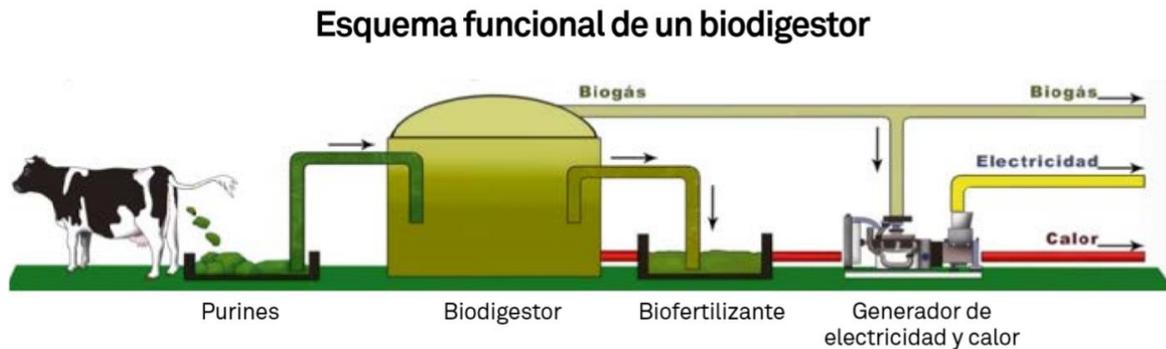
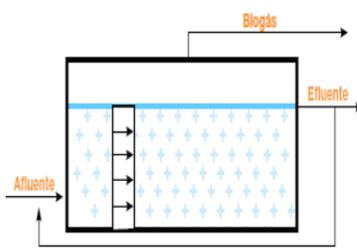
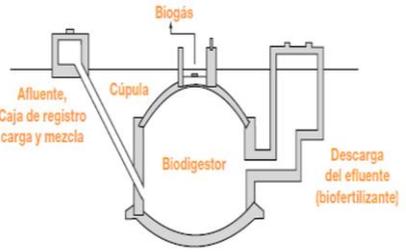
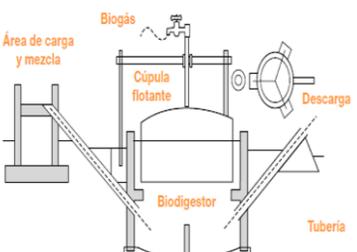


Figura 1.5 Esquema Funcional de un biodigestor, (Grothusen & Rosenberg, 2016).

1.7.1 Materiales, tipos y aplicaciones de biodigestores

En la actualidad se han desarrollado biodigestores del tipo estructura flexible, buscando bajar los costos, mantener la eficiencia y aumentar la rapidez en su instalación, con la construcción de biodigestores enterrados (tipo laguna) usando la tierra como estructura soportante. Esta alternativa combinada con materiales de alta resistencia, como geomembranas elásticas y materiales resistentes al biogás, permiten una larga vida útil, incluso con exposición solar. En la siguiente tabla 1.1

se describen las distintas tecnologías y materiales para biodigestores más conocidos.

Tabla: 1.1 Comparación de biodigestores. Fuente: Elaboración propia con información (IBARROLA & MANUEL, 2014)			
Características	Tipo de biodigestor		
	Tubular (Salchicha)	Cúpula fija (tipo chino)	Cúpula flotante (tipo hindú)
			
Vida útil	10 – 15 años	Mayor a 20 años	Mayor a 15 años
Presión del biogás	Variable y baja	Variable	Constante
Fuga de biogás	No es común	Común	No hay fuga si se da mantenimiento preventivo a la cúpula flotante de acero
Tamaño típico del biodigestor	De 4 a 100 m ³	5 m ³	De 5 a 15 m ³
Materiales de construcción	Plástico PVC (polietileno)	Cemento; ladrillos y varillas de hierro	Cemento; ladrillo y cúpula flotante de acero inoxidable
Mantenimiento del sistema	Bajos niveles de mantenimiento siempre y cuando se hayan tomado medidas de protección a la bolsa de PVC (cerco perimetral y techo protector)	Baja, no hay componentes móviles ni elementos que se oxiden.	Altos niveles de mantenimiento de la cúpula flotante, eliminación del óxido y recubrimientos anticorrosivos periódicamente
Ubicación del biodigestor y requerimiento de espacio	Semi enterrado; alto. Zanja aprox. 2,5m y 50 cm de largo por cada m ³ de biodigestor	Bajo tierra totalmente por lo que el requerimiento de espacio es muy bajo.	Bajo tierra. Requerimiento de espacio muy bajo salvo para la cúpula
Tipo de residuo variable y baja	Aguas residuales de cualquier sector, evitando el uso de desechos sólidos	Sin restricción	Residuos con muchas fibras suelen causar problemas a la cúpula

1.8 Sistemas de almacenamiento de energía

El carácter intermitente de las fuentes de energía renovables, además de la disponibilidad de las mismas en un horario específico, son en ocasiones una de las desventajas de este tipo de tecnología. Para amortiguar lo antes dicho se puede recurrir al almacenamiento de la energía, ya sea desde su forma primaria, ejemplo: almacenar gas, agua caliente, volumen de agua, etc. o el almacenamiento de energía eléctrica a través del empleo de las baterías. Específicamente el almacenamiento de energía se clasifica en cinco categorías que contemplan cada una distintos tipos de almacenamiento. (Ver figura 1.6).

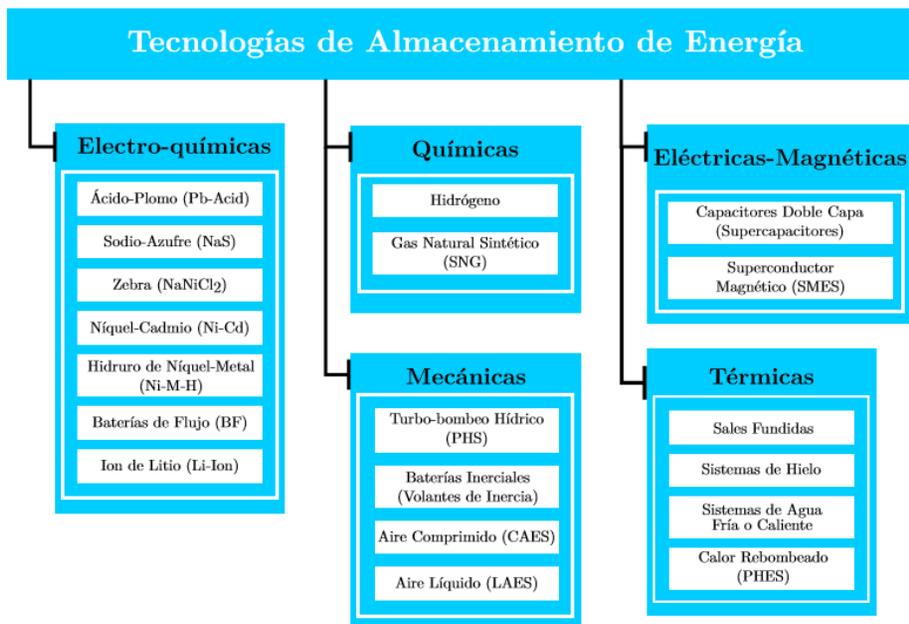


Figura: 1.6 Clasificación almacenamiento de energía. Adaptada de (Carnegie, 2013)

En la Fig.1.7 se muestra la cantidad de proyectos de sistemas de almacenamiento por regiones del planeta. Actualmente existen 1403 proyectos con una potencia instalada de 186 959 MW (Ventura & Payán, 2016). Se puede apreciar que los países desarrollados cuentan con un mayor número de proyectos. Esto es de esperar, teniendo en cuenta que estas tecnologías son extremadamente caras de implementar hasta el momento, por lo que los países subdesarrollados y en vía de desarrollo no cuentan con los medios suficientes para instalar gran cantidad de potencia de estas tecnologías en sus sistemas eléctricos



Figura: 1.7. Número de proyectos de sistemas de almacenamiento de energía por regiones del planeta. (Ventura & Payán, 2016).

Las baterías de iones de litio han sido utilizadas en proyectos que pueden alcanzar los 100MW de capacidad instalada (Governmen, 2017). Actualmente existen un aproximado de 2000 MW de capacidad instalada en almacenamiento de energía a base de baterías de iones de litio. La mayoría de dicha capacidad se encuentra en Estados Unidos (45%), pero el proyecto más grande del mundo (llamado Jamestown) se encuentra en Australia y ha sido desarrollado por Tesla. En el (anexos 1.1) se muestra el detalle de varios proyectos de gran escala desarrollados, o en desarrollo, a nivel mundial (Governmen, 2017). Los proyectos identificados a nivel mundial se centran en la integración de las energías renovables intermitentes. Otras aplicaciones comunes son: arranque negro, respuesta de la demanda, regulación de frecuencia, regulación de tensión, gestión de la demanda, micro-redes, resiliencia.

1.9 Experiencia de energización rural mediante el uso de energías renovables

En 1995 el Gobierno de Brasil creó el Programa Energético de Estados y Municipios (PRODEEM) para así, lograr el acceso a la electricidad de los habitantes de las localidades más remotas. Se buscaba ampliar la aceptación de las Nuevas Energías Renovables (NER), enfocándose en las existentes de cada localidad, pero no hubo ningún logro y solo se optó por la utilización de kits fotovoltaicos importados. En un

comienzo, se optó por la energía hídrica en pequeña escala y la quema o gasificación de biomasa y la energía eólica.

(Verdesio, 2019), presentó un estudio donde la solución para la energización rural fue la instalación de solares planos fotovoltaicos. Una de las problemáticas detectadas fue la falta de personal capacitado en las localidades que impedía el funcionamiento adecuado, así como el aprovechamiento de todo el potencial renovable en dicha zona.

En el Centro Universitario de Sancti Spíritus, en el año 2006 en la provincia del mismo nombre en Cuba se hizo una evaluación histórica de los factores que influyeron en la producción de biogás, así como los usos más frecuentes. Con el objetivo de identificar las principales deficiencias que presenta la provincia para el manejo de tecnologías de producción de biogás con fines energéticos y la base de datos para proponer una estrategia que colabore con el anterior objetivo, para lograr ésto se elaboró una matriz DAFO, en la cual participaron expertos de diferentes provincias del país, en el marco de un taller nacional sobre biogás. Para la elaboración del proyecto también se hicieron encuestas y entrevistas a los trabajadores que tuvieran vínculos a las plantas de producción de biogás que por diferentes motivos dejaron de funcionar, al igual que cuestionarios para conocer el tipo de biodigestor, el material orgánico con que trabajan, el volumen del biodigestor, el volumen de producción de biogás, el material del que están hechos y el uso dado al biogás (FORERO, 2006)

En 17 de Abril de 2019 en el marco de las aspiraciones de la estrategia Angola 2025, suscrita en el programa del Gobierno para el período 2018/2022, el Ministro de Energía y Aguas, João Baptista Borges acompañado por la gobernadora de la provincia de Huambo, Joana Lina Baptista inauguraron dos centrales híbridas (solar - diésel), proyectos insertados en el Programa de Inversión Pública, que servirán para reducir las desigualdades desde el punto de vista del acceso a la energía eléctrica de la red pública de la provincia de Huambo, en particular de las sedes municipales de Longonjo y Londuimbale. Las centrales tienen una potencia

instalada de 5 MW, van a favorecer a cerca de 12 mil habitantes, con un costo de proyecto de 19.606.063,96 USD por central (Ministerio de Energía e Água, 2019).

El pueblo bioenergético de Jühnde es un proyecto de demostración apoyado por el gobierno alemán mediante una subvención de 1.300.000 €. El pueblo tiene 800 habitantes, de los que más del 70% forman parte de una cooperativa fundada para planificar el proyecto y obtener las ayudas necesarias para la inversión (Agencia Internacional de Energía, IEA, 2009)

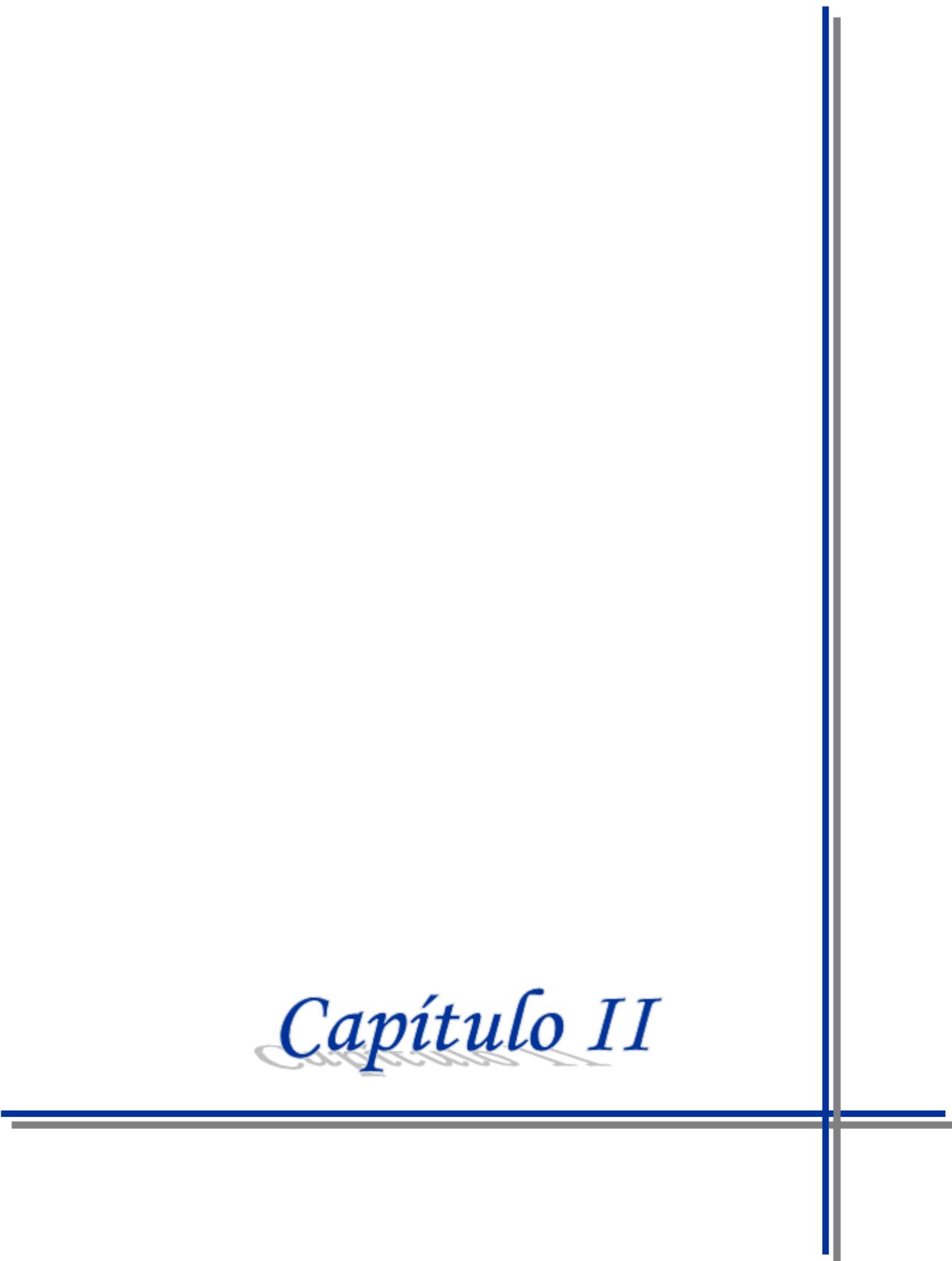
En 2006 se inició la instalación de una planta de cogeneración de biogás, producido mediante de la co-digestión de diferentes cultivos energéticos (15.000 toneladas/año) y de purines líquidos (9.000 m³/año) procedente de seis explotaciones ganaderas.

La instalación se compone principalmente de: Planta de co-digestión; Planta de cogeneración: 700 kW eléctricos, 750 kW térmicos; Caldera de biomasa alimentada por astillas de madera para cubrir demandas altas en los meses fríos: 550 kW; Caldera convencional de gasóleo para uso en caso de avería de la co-digestión/cogeneración o la caldera de biomasa (potencia pico: 1.600 kW); red de calefacción para 145 hogares, con una longitud de 5,5 km y temperatura del agua a la salida de la planta de 85°C. En cada hogar, la red se acopla directamente con el sistema interno de calefacción y mediante un intercambiador de calor se produce el agua caliente sanitaria (Rubio, 2015).

1.10 Conclusiones parciales del Capítulo I

1. De la revisión bibliográfica realizada se demostró que actualmente, casi dos mil millones de personas concentradas en la periferia de los centros urbanos y zonas rurales aisladas no tienen acceso a servicios energéticos básicos.
2. El desarrollo socioeconómico de cualquier región requiere la utilización de energía eléctrica para el funcionamiento de los diversos sectores de su economía.
3. Las nuevas fuentes de energía renovable ocupan un 9,3% de la matriz mundial, para el caso de las comunidades rurales se considera una opción viable en el aprovechamiento de estos recursos.
4. Se caracterizaron las tecnologías de aprovechamiento de energía en los sistemas distribuido con base en los tres tipos de energías renovables; solar, hídrica y biomasa. Sus ventajas y el potencial de aprovechamiento para el empleo en la generación distribuida. Se expusieron ejemplos de comunidades aisladas que las emplean.
5. Debido a la intermitencia de las fuentes de energías renovables se requieren el empleo de sistemas de almacenamiento.
6. Las tecnologías de baterías de litio son las que más se emplean en la actualidad por la alta eficiencia de las mismas

Capítulo II



CAPITULO II MATERIALES Y METODOS

1. Marco metodológico

2.1 Enfoque de la investigación

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que las decisiones que se toman van a satisfacer las necesidades energéticas de la comunidad al que va destinado el proyecto. La realización del procedimiento se basa en la metodología presentada por (Collado C. F., 2014), la cual se detalla a continuación:

- ❖ Delimitar la comunidad a la que va dirigido el estudio, que en este caso es el de alternativas a la comunidad de Balombo.
- ❖ Adquirir información sobre las fuentes de energías renovables en la comunidad de Balombo. Formular la hipótesis de cómo aprovechar los recursos energéticos locales.
- ❖ Aprobar la hipótesis mediante el empleo de los diseños de investigación apropiados. Hacer cálculos del potencial de energía que podría generar cada una de las fuentes y probando los resultados para corroborar o refutar la factibilidad de estos sistemas.
- ❖ Obtener resultados deseados y recopilar las informaciones mediante procesos estadísticos, para futuras evaluaciones energéticas.
- ❖ Efectuar el balance energético y dimensionar los sistemas tecnológicos que aprovechan las FER analizando su interacción con la demanda.

Esta metodología se puede observar de forma gráfica en las figuras 2.1 y 2.2

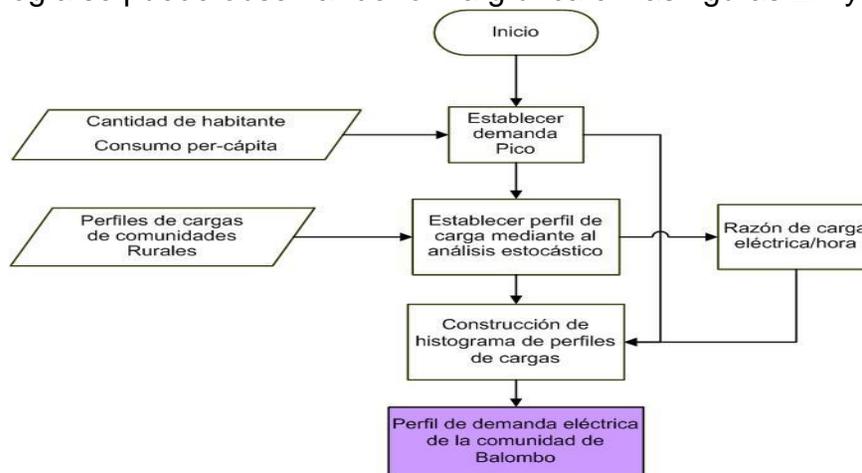


Figura 2.1. Fase I. Diseño Metodológico para determinación del perfil de carga eléctrica. Elaboración pro

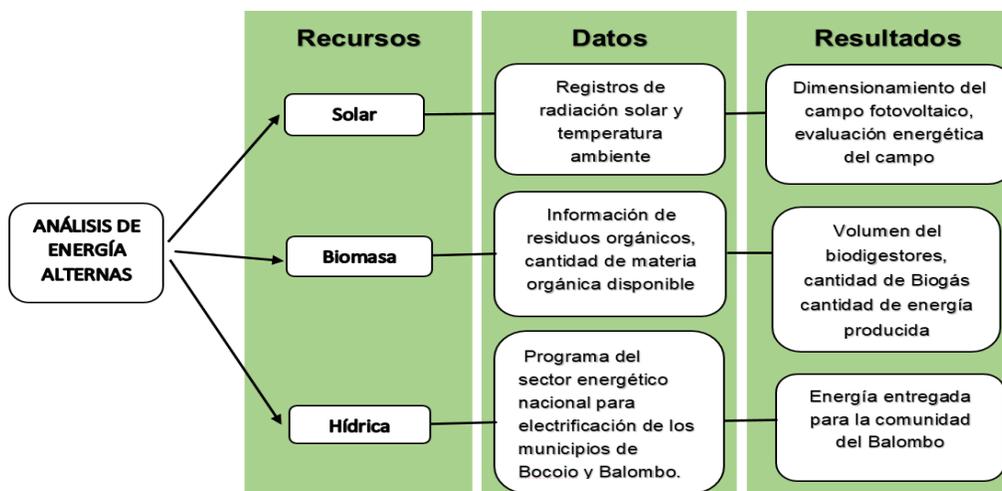


Figura 2.2. Fase II. Identificar y analizar la disponibilidad del recurso de la comunidad. Elaboración Propia

2.2.1 Requerimientos específicos

Ambas metodologías deben cumplir una serie de requerimientos específicos. Primeramente, la recolección de datos, se fundamentó en la medición meteorológica multianual y para en volumen de biomasa, la cantidad de animal y tiempo de retención. Para garantizar lo antes mencionado la recolección de los datos y mediciones se efectuaron bajo procedimientos estandarizados que generen credibilidad y aceptación por otros investigadores. Finalmente, los datos adquiridos de registros de mediciones fueron sistematizados mediante la elaboración de tablas y gráficas. El análisis cuantitativo se fundamentó en predicciones y estudios previos, que para el caso de energías renovables no han sido desarrollados en la comunidad.

Las variables dependientes e independientes de la investigación son:

- a. **Variable independiente:** sistema distribuido de empleo de las FRE (solar, hídrico y biomasa)
- b. **Variable dependiente:** Generación de Energía Eléctrica

En las tablas 2.1 y 2.2 se muestran el análisis teórico de las variables independientes y dependientes respectivamente.

Tabla: 2.1 Variable independiente: sistema distribuido de empleo de las FRE (solar, hídrico y biomasa) .Elaboración propia				
Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems Básicos	Técnicas e Instrumentos
El sistema distribuido es la generación y gestión de energía eléctrica de forma descentralizada, lo más cerca posible de su lugar de consumo a través de, principalmente, fuentes de energía renovable.	Elementos Energía solar, hídrica y biomasa Demanda	Conectado para trabajar conjuntamente Dimensionamiento Fuente de energía renovable Cantidad de energía que se requiere generar. Cantidad de equipos eléctricos.	¿Cuáles son los componentes que se requieren para un sistema de generación distribuida? ¿Cuáles son los parámetros que se deben tomar en cuenta para dimensionar el sistema? ¿De qué manera se integran los componentes para aprovechar las energías: solar, biomasa y hídrica? ¿Qué cantidad de energía eléctrica se requiere para cubrir la demanda eléctrica?	Observación Investigación

Tabla: 2.2 Variable dependiente: Generación de Energía Eléctrica. Elaboración propia.				
Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems Básicos	Técnicas e Instrumentos
Generación de energía eléctrica. Se produce en alternadores o generadores, en términos generales, consiste en transformar alguna clase de energía, ya sea esta química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica	Generar	Energía eléctrica Potencia Demanda	¿Cuáles son los cálculos que nos ayudan a determinar la potencia a la que se debe dimensionar?	Investigación

A continuación, se presentan los aspectos del diseño de manera más detallada de las fases desarrolladas en este proyecto.

Fase I. Determinación de la demanda eléctrica de la comunidad

1. Análisis del campo:

Para este método se necesitan mediciones energéticas reales además de un censo de la población, estimar la potencia eléctrica y el tiempo de uso de cada equipo.

2. Estimación de la demanda a través de la demanda pico, para lo cual se hace lo siguiente:

Se estima la población general, se toma el valor de consumo per cápita de esta población general como se observa en la ecuación 2.1

$$D_{p,[MW]} = \frac{(D_{pr} * T_{hab})}{730_{horas}} \quad \text{Ec.2.1}$$

Donde: D_p = demanda pico de la comunidad; D_{pr} = demanda per cápita que es la energía eléctrica kWh/mes.hab; T_{hab} =total de habitantes

Fase II. Establecer el perfil de carga eléctrica de la comunidad.

1. Para el establecimiento del perfil de carga y ver su variación durante un periodo de 24 h, se analizarán perfiles de varias comunidades rurales de diferentes regiones con características similares, determinando la fracción de la carga promedio y posteriormente extrapolando esos valores considerando la potencia pico obtenida para el caso de estudio. Ver ecuación 2.2 y 2.3

$$R_{ci} = \frac{\int_0^t P_i}{P_{pico}} * dt \quad \text{Ec.2.2}$$

Donde: R_{ci} = razón de carga instantánea; P_i = potencia instantánea; P_{pico} =potencia pico.

$$P_{demanda} = \left(\int_0^t \frac{R_{ci}}{n} * dt \right) * \left(\int_0^t D_p * dt \right) \quad \text{Ec.2.3}$$

Donde: n = número de observación de perfiles; R_{ci} = razón de carga instantánea de cada perfil observado.

Fase III. Identificar y analizar la disponibilidad del recurso solar, hidráulico y de la biomasa en la comunidad de Balombo.

- Recopilar los registros existentes de la cantidad de radiación solar presente en (Datos mundial, NASA, 2019), datos de temperatura ambiente.
- Obtener los datos de la cantidad de biomasa desde el estiércol animal, siendo la agricultura y pastos la principal actividad económica de la comunidad. Considerando los tipos de biomasa presentes en la comunidad, se escogió el tipo más abundante y homogéneo como base para el cálculo de potencia eléctrica a partir de la biomasa.
- Recopilar los datos del proyecto de electrificación de generación hídrica de los municipios de Bocoio y Balombo (Rede Nacional de Transporte de electricidad, RNT, 2019).

Fase IV. Diseñar el esquema de generación distribuida empleando las fuentes de energías renovables.

- Para el diseño del esquema de generación distribuida se tomarán en cuenta lo anteriormente citado, aplicando así los criterios de cálculo de dimensionamiento de cada sistema de generación de energía y sus componentes principales.

Fase V. Realizar estudio de inversión inicial e impacto ambiental para la implementación del sistema.

- Se analizaron en el mercado los costos que implicarían la generación de cada una de las cuatro opciones de energías renovables.
- Una vez analizados los beneficios sociales que se podía generar con cada una de las energías; solar, hídrica y de biomasa, se determinaron los costos de las tecnologías de cada sistema.
- Se compararon desde el punto de vista económico y ambiental el sistema de generación distribuida con el empleo de las FRE con respecto a un sistema convencional compuesto por un grupo electrógeno.

2.1 Dimensionamiento del campo fotovoltaico

Se realiza un diseño que suple la necesidad y se acopla a las características geográficas y meteorológicas del municipio, partiendo de los datos resultantes del caso de estudio. Las ecuaciones y fórmulas desarrolladas son tomadas en base a las indicaciones del libro (Solar Energy, International, 2007), el libro (Prado M, 2008), (Baquero, 2016) el libro (IDAE, 2011) y otros autores de referencia.

2.1.1 Cálculo de número de paneles fotovoltaicos necesarios

Según (Baquero, 2016), para calcular el número total de paneles solares, se debe tener en cuenta el consumo total de energía en kWh/día; la potencia nominal del generador o panel solar descrito anteriormente y la hora pico solar del peor mes del año y esta relación se expresa en la ecuación (2.4)

$$NP = \frac{E}{0.9 * W_p * HPS} \quad Ec. 2.4$$

Donde: E = energía total consumida en kWh/día; NP= número de paneles necesarios; HPS= (Hora pico solar; Wp= Potencia nominal del panel solar

2.1.2 Calcular el número máximo, mínimo de módulos en serie y ramas en paralelo

Para calcular el número máximo de módulos en serie (Ec. 2.6), para ellos se contemplan los casos de temperatura más extremos y desfavorables para la tensión a circuito abierto empleando la expresión (2.5).

$$V_{oc(10^{\circ}C)} = V_{MODoc(TSC)} * (1 - (25^{\circ}C - (0^{\circ}C) * \beta V_{oc(STC)}) \quad Ec. 2.5$$

Donde: $\beta V_{oc(STC)}$ es el parámetro del módulo TSM-250 PC/PA05 es (-0,32%/°C), según el fabricante.

$V_{MOD,oc(TSC)}$ = Voltaje de circuito abierto de módulo

$$Máx(N_{ms}) = \left[\frac{V_{INV,M}}{V_{oc(0^{\circ}C)}} \right] \quad Ec. 2.6$$

Donde: $Máx(N_{ms})$ = Número máximo de módulos en serie, $V_{INV,M}$ = voltaje máximo de entrada del inversor; $V_{oc(0^{\circ}C)}$ = es el valor de la expresión 2.5

El número mínimo de módulos en serie está dado por la (Ec.2.8), para ello se contempla el caso más desfavorable para la tensión MPP, que sería con una temperatura de operación de la célula de 70°C, ecuación (2.7).

$$V_{oc(70^{\circ}C)} = V_{MOD.M (STC)} * (1 - (25^{\circ}C - (70^{\circ}C) * \beta V_{oc (STC)}) \quad Ec.2.7$$

Donde: $\beta V_{oc (STC)}$ es el parámetro del módulo TSM-250 PC/PA05 es (-0,32%/°C), según el fabricante.

$$V_{MOD.M (STC)} = \text{Voltaje máximo del módulo}$$

$$Min(N_{ms}) = \left[\frac{V_{INV,m}}{V_{oc (70^{\circ}C)}} \right] + 1 \quad Ec.2.8$$

Donde: $Min(N_{ms})$ = número mínimo del módulo en serie; $V_{INV,M}$ = voltaje mínimo de entrada del inversor; $V_{oc (70^{\circ}C)}$ = es el valor de la expresión 2.7

2.2 Selección del inversor

El total de inversores estará dado por su potencia nominal. La potencia instalada en módulos fotovoltaicos se dividirá de forma equitativa para cada inversor, por lo tanto, a cada inversor le corresponden los siguientes módulos fotovoltaicos (Ec.2.9).

$$Modulos_{inversor} = \frac{N^{\circ} \text{ total de módulos}}{N^{\circ} \text{ total de inversores}} \quad (Ec: 2.9)$$

La relación entre la potencia pico en el generador fotovoltaico y la potencia nominal del inversor será dada por la (ecuación 2.10)

$$Ratio_{DC/AC} = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} \quad (Ec. 2.10)$$

El número máximo de módulos en serie para que no sobrepasar el nivel de tensión del inversor está dada por la (Ec.2.10), se calcula el número de ramas en paralelo por cada inversor, aplicando la siguiente ecuación (2.11):

$$N_{NP} = \left[\frac{N}{N_{MS}} \right] \quad (Ec.2.11)$$

Donde: N = número total de módulos por inversor; N_{MS} = número máximo de módulos en serie. Comprobamos con la (Ec: 2.12), para que no sobrepase la intensidad máxima del inversor Sunny Central 250 de SMA

$$N_{mp} * I_{sc, stc} \leq I_{MÁX, INV, DC} \quad (Ec.2.12)$$

Donde: N_{mp} = número máximo de módulos en paralelo; $I_{sc, stc}$ = intensidad del módulo en corto circuito; $I_{MÁX, INV, DC}$ = intensidad máxima del inversor

2.3 Arreglo espacial del campo fotovoltaico

Se da el caso de que cuando existe un gran número de módulos fotovoltaicos a instalar y no se dispone de mucho espacio, es necesario juntar las filas de paneles y esto puede traer como consecuencia que (especialmente en invierno) se produzcan sombras de una a otra fila. La posibilidad de que en verano puedan darse sombra unas filas a otras es mucho menor, ya que el recorrido del sol es más alto, y por lo tanto, la sombra arrojada por la fila precedente es más pequeña (Dirección General de Industrias y Energía, 2016)

2.4 Angulo de inclinación

El ángulo de inclinación está dada por la latitud del lugar que es de: 12,35 por hemisferio sur dando así un ángulo de inclinación óptimo de 15° para el norte como se puede ver en la tabla 2.3

Tabla: 2.3 Angulo de inclinación recomendado. (Bits, 2019)	
Latitud del lugar (en grado)	Angulo de inclinación fijo
0 ° a 15 °	15 °
15 ° a 25 °	La misma latitud
25 ° a 30 °	Latitud más 5 °
30 ° a 35 °	Latitud más 10 °

2.5 Distancia mínima entre filas de módulos

La distancia mínima entre fila y fila está marcada por la latitud del lugar de la instalación, dado que el ángulo de incidencia solar varía también con este parámetro. Supongamos que debemos disponer de una serie de módulos solares en fila, tal y como se representa en la figura 2.3

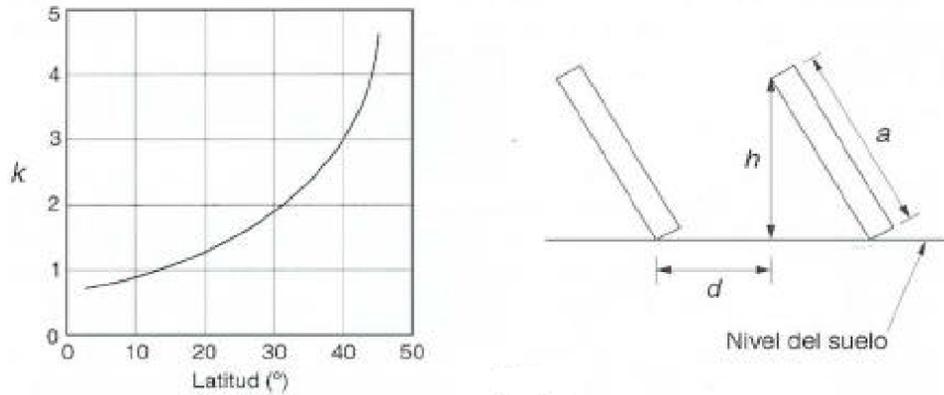


Figura: 2.3 Curva k y distancia mínima entre filas de módulos.

Fuente: (Dirección General de Industrias y Energía, 2016)

Donde: a es la altura de los módulos colocados en el bastidor, h la altura máxima alcanzada y d la distancia mínima entre fila y fila capaz de no producir sombras interactivas. Ver figura 2.4

Ángulo de inclinación ▼	a		
	1.5 m	2.7 m	4 m
15°	0.38	0.69	1.03
20°	0.51	0.92	1.36
25°	0.63	1.14	1.69
30°	0.75	1.35	2.00
35°	0.86	1.54	2.29
40°	0.96	1.73	2.57
45°	1.06	1.90	2.82
50°	1.14	2.06	3.06
55°	1.22	2.21	3.27
60°	1.29	2.33	3.46
65°	1.35	2.44	3.62
70°	1.40	2.53	3.75
75°	1.44	2.60	3.86

Figura 2.4. : Valores recomendados de la distancia (a) respecto al ángulo de inclinación. Fuente: (Dirección General de Industrias y Energía, 2016)

Una vez que disponemos del valor a , y de la latitud del lugar, estamos en disposición de buscar el factor h , expresión 2.13. Posteriormente la fórmula que nos da la distancia d ; entre filas sucesivas de paneles será la expresión 2.14

$$h = a (\text{sen} \alpha) \quad (\text{Ec.2.13})$$

$$d = k \cdot h \quad (\text{Ec.2.14})$$

2.6 Simulación energética de la potencia eléctrica a la salida de un campo fotovoltaico

La potencia eléctrica instantánea de una central fotovoltaica puede obtenerse utilizando instrumentos de medida y procedimientos adecuados de corrección de unas condiciones de operación bajo unos determinados valores de irradiación solar y temperatura a otras condiciones de operación diferentes. Cuando esto no es posible, puede estimarse la potencia instalada utilizando datos de catálogo. La metodología para el mismo puede encontrarse en (IDAE, 2011)

Para determinar la curva de la potencia eléctrica a la salida del campo fotovoltaico se deben emplear las expresiones de cálculo 2.15-2.17, que se describen a continuación.

$$P_{cc,inv} = \int_0^t P_{cc,fot} (1 - L_{cab}) dt \quad (\text{Ec.2.15})$$

$$P_{cc,fot} = \int_0^t (P_o * R_{to,var} [1 - g(T_c - 25)E/1000]) dt \quad (\text{Ec.2.16})$$

$$T_c = \int_0^t (T_{amb} + (TONC - 20)E/800) dt \quad (\text{Ec.2.17})$$

Donde: $P_{cc,fot}$ = Potencia de CC inmediatamente a la salida de los paneles FV, en W; L_{cab} = Pérdidas de potencia en los cableados de CC entre los paneles FV y la entrada del inversor, incluyendo, además, las pérdidas en fusibles; E = Irradiación solar, en W/m^2 , medida con la CTE calibrada; g = Coeficiente de temperatura de la potencia, en $1/^\circ C$; T_c = Temperatura de las células solares, en $^\circ C$; T_{amb} = Temperatura ambiente en la sombra, en $^\circ C$, medida con el termómetro; $TONC$ = Temperatura de operación nominal del módulo; T_c = Potencia nominal del generador en condiciones estándar de medidas (CEM), en W; $R_{to,var}$ = Rendimiento que incluye los porcentajes de pérdidas debidas a que los módulos fotovoltaicos

operan normalmente, en condiciones diferentes de las condiciones estándar de medida (CEM)

$$R_{to,var} = (1 - L_{pol}) * (1 - L_{dis}) * (1 - L_{ref}) \quad (Ec.2. 18)$$

Donde: L_{pol} = Pérdidas de potencia debidas al polvo sobre los módulos FV; L_{dis} = Pérdidas de potencia por dispersión de parámetros entre módulos; L_{ref} = Pérdidas de potencia por reflectancia angular espectral, cuando se utiliza un piranómetro como referencia de medidas. Si se utiliza una célula de tecnología equivalente (CTE), el término L_{ref} es cero. Los valores indicados para las constantes se muestran en la figura 2.5.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor estimado, media anual</i>	<i>Valor estimado, día despejado (*)</i>
L_{cab}	0,02	0,02
$g (1/^\circ C)$	–	0,0035 (**)
$TONC (^\circ C)$	–	45
L_{tem}	0,08	–
L_{pol}	0,03	–
L_{dis}	0,02	0,02
L_{ref}	0,03	0,01

Figura 2.5. Valores indicados para las constantes. (*) Al mediodía solar ± 2 h de un día despejado. (**) Válido para silicio cristalino. Fuente: (IDAE, 2011)

2.8. Dimensionamiento del biodigestor

Para realizar el cálculo de la producción de biogás para el posterior dimensionamiento del biodigestor, se tomaron como referencia de varios proyectos de producción de biogás en las comunidades rurales como: (IBARROLA & MANUEL, 2014), en su trabajo de grado titulado, Estudio de factibilidad técnico-económica para la instalación de biodigestores en un feedlot. (Collado C. M., 2014), en su artículo titulado, Orientaciones sobre el cálculo de residuales que se debe disponer en un biodigestor.

El método de cálculo utilizado en estos trabajos anteriormente referidos, son metodologías ampliamente usadas en la dimensión de los biodigestores, aunque cabe destacar que la infinidad de variables que influyen en la producción de biogás,

tales como temperatura, clima de la región, animales utilizados para producción de estiércol, peso promedio de los mismos y muchas más, hacen que el número final al que se arriba sea aproximado. Sin embargo, la experiencia indica que un análisis más profundo y detallado aumentaría significativamente la complejidad y aportaría relativamente poco más al estudio, por lo cual, el cálculo que se presenta a continuación, es absolutamente válido para dimensionar el biodigestor.

Se tomó como animal representativo del establecimiento la vaca, (ver fig.2.6), y la cantidad de estiércol se puede estimar con un índice de excreción según el peso de las mismas, el cual es de 400 Kg. Generalmente, el rango de excreción es entre 6% y 9%. Este porcentaje de excreción es diario por lo que se debe restar el tiempo que los animales no permanecen en las instalaciones. La cantidad de estiércol está dada por la expresión 2.19:

Especie animal	Peso vivo promedio. kg	Producción de estiércol por PV. %	m ³ de biogás por kg de estiércol	Tiempo de estación. h
Bovino	400 - 500	6 - 10	0,04	12

Figura: 2.6 Producción de biogás por residuo animal (Bovino)

Fuente: Elaboración propia con la información extraído de: (Collado C. M., 2014) y (Moreno M. T., 2011)

$$T_{estiércol[Kg/dia]} = T_{vacas} * P_{vp} * \frac{P_{estiércol}}{100} * \frac{T_{estación}}{24} \quad (\text{Ec.2.19})$$

Donde: $T_{estiércol}$ = total de estiércol; T_{vacas} = total de vacas; P_{vp} = peso vivo; $P_{estiércol}$ = producción de estiércol; $T_{estación}$ = tiempo de estación

2.11.1 Agua necesaria para la mezcla

Para formar la biomasa en gran escala, (IBARROLA & MANUEL, 2014) en su tesis de estudio de factibilidad técnico-económica para la instalación de biodigestores en un feedlot de un volumen anual de 110 8000 m³, recomienda añadir 5 kg de agua por cada kg de estiércol. Mientras que algunos estudios recomiendan la relación agua-estiércol en dependencia del animal del cual provenga la excreta, para

garantizar un desarrollo adecuado de la anaerobiosis metanogénica, igual a lo mostrado en la Figura: 2.6.1

Tipo animal	Estiércol: agua
Bovino	1:1
Porcino	1:3
Aves	1:3

Figura: 2.6.1 Relación excreta agua

Fuente: (Moreno M. T., 2011)

Es importante aclarar que el volumen del biodigestor queda determinado por el volumen de mezcla y no por el volumen de biogás producido. Asumiendo cambios de volumen despreciables por la adición de los sólidos totales, el volumen del efluente es igual al volumen de agua que contenga. La relación agua por estiércol es dada por la ecuación 2.20.

$$T_{estiércol[Kg/día]} * Kg H_2O \quad (Ec. 2.20)$$

$$\text{Densidad del } H_2O = 1000 Kg/m^3$$

$$V_{Afl}[m^3] = \frac{T_{estiércol[Kg/día]} * Kg H_2O}{1000 Kg/m^3} \quad (Ec. 2.21)$$

Donde: $V_{Afl}[m^3]$ = volumen del afluente; $T_{estiércol[Kg]}$ = total de estiércol

$$V_{Anual}[m^3] = V_{fl}[m^3] * 365 \text{ días} \quad (Ec. 2.22)$$

Donde: $V_{Anual}[m^3]$ = volumen anual

2.11.2 Tiempo de retención de la biomasa

Dado que el material biodegradable requiere de un tiempo para su descomposición total en sus elementos principales, se procederá a su determinación, para en última instancia calcular el volumen de trabajo del biodigestor.

Bajo la acción de bacterias mesolíticas, ver figura 2.7, se estima que en un reactor normal a 25 - 35 °C el tiempo requerido para biodegradar la materia prima

alimentada es de 30 - 60 días, tiempo que se puede afectar por las variaciones de la temperatura ambiental.

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psycrophilica	4-10 °C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20 °C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

Figura: 2.7 Rangos de Temperatura y Tiempo de fermentación Anaeróbica

Fuente: (Moreno M. T., 2011)

El tiempo de retención para este trabajo estará dado por el día correspondiente a la temperatura óptima de la fermentación mesolítica y por el coeficiente de la temperatura expresada en la ecuación 2.23.

$$T_{retención} = 30 \text{ días} \times 1,3 \quad (Ec. 2.23)$$

Donde: $T_{retación} = \text{Tiempo de retención}$

El factor 1,3 es un coeficiente que depende de la temperatura, y para garantizar un funcionamiento óptimo del biodigestor en cualquier época del año se asume el valor de 25 °C dando así, un tiempo de retención de 33 días para que se produzca todo el biogás posible y el volumen del biodigestor es dado por:

$$V_{Bio[m^3]} = V_{Afl} * T_{retención} \quad (Ec. 2.24)$$

Donde: $V_{Bio[m^3]}$ = volumen del biodigestor; $V_{Afl[m^3]}$ = volumen del afluente;

$T_{Retación}$ = tiempo de retención

El factor 1,3 es un coeficiente que depende de la temperatura, y para garantizar un funcionamiento óptimo del biodigestor en cualquier época del año se asume el valor de 25 °C dando así, un tiempo de retención de 33 días para que se produzca todo el biogás posible y el volumen del biodigestor es dado por:

2.11.3 Producción de biogás y equivalencias

Es ampliamente aceptado que para la biodigestión, 1 Kg. de estiércol produce 0.04 m³ de biogás, tal y como se lee en la Tabla 2.7. Por lo tanto, la cantidad de biogás día se obtendría por la expresión 2.25.

$$B_{\text{día}} = T_{\text{estiércol}}[\text{Kg}/\text{día}] * 0.04 \text{ m}^3 \text{ de } \frac{\text{biogás}}{\text{Kg}} \quad (\text{Ec. 2.25})$$

Donde: $B_{\text{día}} = \text{biogás día producido}$

2.7. Capacidad de almacenamiento (banco de baterías)

El número del banco de baterías para alcanzar la capacidad de almacenada requerida se expresa en la ecuación 2.26:

$$N_{\text{min total bat}}^{\circ} = \frac{E_{\text{req.sist}}}{E_{\text{bat}}} \quad (\text{Ec.2.26})$$

2.8. Evaluación de Tecnologías de Almacenamiento de Energía para la Integración de Energía

La revista Solar Energy publicó en el año 2012 el estudio “Evaluating Energy Storage Technologies for Wind Power Integration” de la Universidad de Massachusetts en Estados Unidos. En el estudio se presenta una metodología de análisis económico de tecnologías de almacenamiento de energía para el sector eléctrico, cuando se utilizan en tres aplicaciones clave para la integración de parques eólicos a la red: desplazamiento de carga, soporte de frecuencia y calidad de la energía. Para la evaluación de cada aplicación en el sistema eléctrico, se especifica un diseño de capacidad energética y de potencia de los sistemas. Se evalúan un total de once tecnologías, que incluyen: baterías sodio-azufre, ácido-plomo, níquel cadmio y de ion de litio; baterías de flujo; superconductores magnéticos, capacitores electro-químicos, volantes de inercia, turbo-bombeo hídrico y aire comprimido. A continuación, se presenta un detalle de la metodología de evaluación económica, de los sistemas de almacenamiento, presentado en el estudio. La totalidad de la información brindada en la publicación puede ser consultada en (Sundararagavan & Baker, 2012).

2.8.1 Evaluación de Tecnologías de Almacenamiento de Energía

La metodología de evaluación económica, según (Sundararagavan & Baker, 2012) , para encontrar el costo anual total de almacenamiento, CTA, se basa en la suma del costo capital anualizado del sistema de almacenamiento, $CC_{A,año}$ y del costo de operación y mantenimiento del mismo, $C_{O\&M}$, como muestra:

$$CTA = CC_{A,año} + C_{O\&M} \quad (2.27)$$

El cálculo del costo capital del almacenamiento se muestra en:

$$CC_A = C_A + C_{CP} + C_{BP} \quad (2.28)$$

Este se compone de tres ejes de inversión principales:

1. El costo del almacenamiento energético C_A , el cual es proporcional a la capacidad energética de almacenamiento. Se calcula siguiendo:

$$C_A = \frac{C_E * E}{\eta} \quad (2.29)$$

Donde C_E es el costo en \$/kWh de la energía, E es la capacidad de almacenamiento de energía del sistema y η es la eficiencia del sistema de almacenamiento.

2. El costo del sistema de conversión de potencia para conexión a la red, C_{CP} , que se encuentra relacionado directamente a la capacidad de potencia del sistema de almacenamiento, como se muestra en:

$$C_{CP} = C_P * P, \quad (2.30)$$

Donde C_P , en \$/kW, es el costo por potencia del sistema de almacenamiento y P es el valor de potencia eléctrica del sistema.

3. El costo de balance de planta, C_{BP} , asociado con el alojamiento, sistemas de control, conexiones eléctricas y demás dispositivos necesarios para la instalación y operación del sistema de almacenamiento. El C_{BP} puede ser expresado en términos de energía, \$/kWh, o de potencia, \$/kW; por lo que su valor puede calcularse según:

$$C_{BP} = C_{BP,kwh} * E, \quad \text{o} \quad C_{BP} = C_{BP,kw} * P \quad (2.31)$$

Donde $C_{BP, kWh}$ y $C_{BP, kW}$ son los costos de balance de planta proporcionales a energía y potencia, respectivamente. Para encontrar el costo capital anualizado del

almacenamiento, CC_A , año, se multiplica el CC_A por el factor de recuperación de capital, FRC , como se muestra en:

$$CC_{A,año} = CC_A * FRC \quad (2.32)$$

Dicho factor realiza la asignación del costo de capital inicial del sistema a lo largo de la vida útil del mismo, y se calcula siguiendo:

$$FRC = \frac{i(1+i)^L}{[(1+i)^L-1]} \quad (2.33)$$

En la cual se utiliza el valor de la tasa de descuento i y de la vida útil del sistema, L . Finalmente, el costo anual por operación y mantenimiento, $C_{O\&M}$, se calcula siguiendo:

$$C_{O\&M} = C_{O\&M,año} * P, \quad (2.34)$$

Donde $C_{O\&M, año}$ es el costo anual de operación y mantenimiento del sistema de almacenamiento, expresado en \$/kW-año.

2.12 Conclusiones parciales del Capítulo II

La metodología aplicada consta de dos pasos fundamentales, el primero está dirigido a determinar el perfil de demanda y el segundo en el dimensionamiento de los sistemas de generación de cada fuente de energía en la comunidad.

El perfil de la demanda se hizo por el método estocástico del análisis de varios perfiles de demanda de varias comunidades rurales.

El dimensionamiento del campo fotovoltaico se realizará por el método basado en el balance energético que permite calcular el total de los componentes necesarios para generar la energía requerida.

El análisis de la planta de biogás permite calcular el volumen del biodigestor y la cantidad de gas producido.



Capítulo III



CAPÍTULO III CASO DE ESTUDIO

3.1 Introducción al capítulo

Las tecnologías desarrolladas en los capítulos anteriores del presente documento se aplican en un determinado caso de estudio para poner en práctica los conceptos estudiados sobre la electrificación rural con FRE. En los siguientes apartados se estudia, analiza y calculan las alternativas para proporcionar electricidad a una zona rural en la República de Angola de forma eficiente, sostenible y económicamente viable para los ciudadanos que residen en ella.

3.2 Característica Regional

Angola está situada en la costa occidental de África Austral, 12° 30' Sur, 18° 30' Este. Limita al Norte y Noreste con la República Democrática del Congo, al Sureste con Zambia y al Sur con Namibia. En el Oeste tiene una costa de 1.650 Km. sobre el Océano Atlántico. En el Norte posee el enclave de Cabinda situado entre los dos Congos y el océano, tiene una extensión territorial de 1 246 700 Km². Angola posee más de 24 383 301 (Estatística, 2014). Administrativamente el país está dividido en 18 provincias, posee un total de 163 municipios compuesto por 618 comunas respectivamente.

3.3 Situación energética de Angola

Angola es el segundo mayor productor de petróleo en África, quedando sólo detrás de Nigeria. Hasta el final de 2014, sus reservas confirmadas ascendieron hasta 9 mil millones de barriles, lo que representa unos 15 años de explotación intensiva. La producción de petróleo ha permitido un extraordinario crecimiento económico. Sin embargo, los largos períodos de desarrollo de las infraestructuras eléctricas y las consecuencias de la guerra sobre las infraestructuras existentes no han permitido que el crecimiento de la demanda se mantenga. La falta de energía eléctrica ha sido compensada en grande medida por la producción basada en diésel mediante el empleo de grupos electrógenos (principalmente de origen privado), con precios subsidiados y con el consecuente impacto sobre el medio ambiente y la economía del país

Además del petróleo, Angola dispone de reservas considerables de gas natural, que actualmente se explotan a través del proyecto Angola GNL. Las reservas probadas totales representan más de 270.000 millones de m³. (Ministerio de Energia e Água. MINEA, 2015). El sistema energético del país, ver Fig.3.1 cuenta con una potencia (real y en proyección) de 4 068 MW, de los cuales 58% de origen hídrico y 42% térmico.



Figura: 3.1. Mapa por región de exploración del sistema energético de Angola. Tomado de (Rede Nacional de transporte de Electricidade, 2019).

Actualmente solo está disponible 3 021 MW, de los cuales la hídrica contribuye con 2 080 MW (69 %) y la térmica con 937MW (31 %). Esta potencia instalada es incapaz de solucionar las necesidades energéticas del país mucho menos de las comunidades aisladas donde no existe proyección de energía eléctrica por el sistema eléctrico nacional. (Angop, 2018).

3.3.1 Potencialidades de los recursos renovables en Angola

Angola es un país que tiene un alto potencial de fuente de energía renovable. El recurso solar es el más fiable, constante y uniformemente distribuido a lo largo de todo el territorio angolano. El nivel de irradiación diaria por año se registra en 260 watts por metro cuadrado (W/m^2), figura: 3.2.

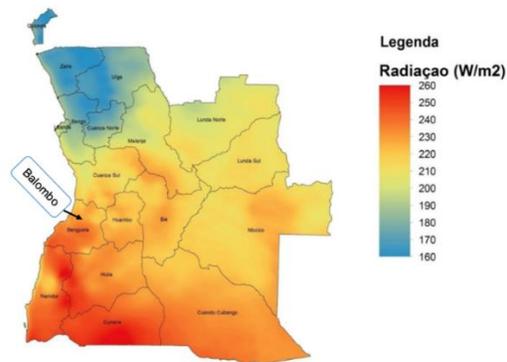


Figura: 3.2 Mapa de radiación solar de Angola, (López, 2016).

En el marco de un programa gubernamental, contribuyendo a los esfuerzos de reducción de pobreza y de desarrollo económico y social en la región, en el año 2013, se concluyó un proyecto con 505 sistemas solares fotovoltaicos instalados en 500 domicilios y equipamientos sociales (escuelas, centros de salud, centros de formación, espacios comunitarios y otro edificios técnicos) y 83 postes de iluminación pública solar (Ministerio de Energía e Água, MINEA, 2014) .

El recurso eólico en Angola es relativamente escaso, ver figura (fig.3.3). Con base a los resultados del estudio extraído (Ministério da Energia e Águas, 2014), el potencial eólico es de 3,9 GW. Solamente en las provincias de Moxico y Cuanza-Norte se logran obtener velocidades entre 7.25-7.50 m/s, pero a una altura de 100 m, lo que hace técnicamente difícil la implementación de esta tecnología.

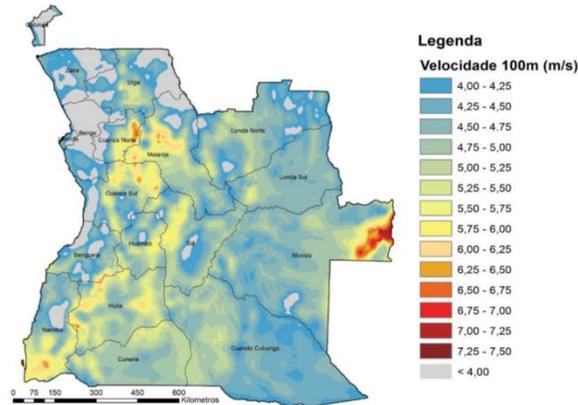


Figura: 3.3 Velocidad del viento y horas equivalentes, (López, 2016).

En el ámbito de un programa gubernamental “Angola energía 2025”, el país ganó su primer parque eólico en la provincia de Namibe, cuya capacidad es de 100 MW (Portalangop, 2016). Esto fue posible por la característica de la región, principalmente montañosa y gracias además a la participación de fuentes de financiamiento privado.

El potencial energético de las fuentes hídricas de Angola ha sido estimado en casi 18 GW hasta 72 TWh de producción anual, concentrado fundamentalmente en las represas del Río Kwanza, Longo, Queve, Catumbela, y Cunene (Ministério da Energia e Águas, 2014); (MINISTÉRIO DA ENERGIA E ÁGUA, 2011). El país presenta una precipitación anual de 1060 mm, con elevado índice en los meses de noviembre a marzo. La precipitación no se distribuye uniformemente por todo territorio nacional, siendo la zona nordeste bastante húmeda, con una precipitación anual en la orden de los 1400 mm, de las zonas costera en el sur bastante seca, con precipitación anual media inferior de 500 mm. Como parte del proyecto "Angola Energía 2025", que prevé el aumento sustancial de la oferta eléctrica a las poblaciones y al sector productivo, el país apunta a un aumento de la demanda de energía en la próxima década, cuatro veces superior a los niveles actuales. Se estima que la demanda alcanzará 9,9 GW hasta 2025, contra los 2 GW. La meta es llegar al 60 por ciento de la población, el equivalente a 14 millones de beneficiarios en 2025 (Jornaldeangola, 2017).

Finalmente, el recurso Biomasa fue identificado en 42 locales favorables para la instalación de bioeléctricas, con un total de 3,7 GW de potencia que se distribuye por diferentes tecnologías, (biomasa forestales, caña de azúcar, y residuo sólidos urbanos). (Ministério da Energia e Águas, 2014). Actualmente el país por intermedio de la compañía de Bioenergía de Angola (Biocom), instalada en Cacuso, Malanje, inyecta 200 MW de electricidad en la Red Nacional de Distribución (RNT), sobre la base de derivados de caña de azúcar (Jornal de Angola, 2017).

Como se observa, existe potencial para el aprovechamiento de la energía solar, eólica, hidráulica, biomasa en casi todo territorio nacional. Sin embargo, a excepción de la energía hidráulica, las nuevas energías renovables no tienen expresión en la matriz energética y un 58 % de la población no tiene servicio básico de energía eléctrica. (Interlusófona, 2018).

3.4 Característica de la comunidad de Balombo, provincia de Benguela.

Balombo es un pueblo y municipio de la provincia de Benguela, en Angola. El municipio fue creado en 1954, y tiene una extensión territorial de 2 670 Km², posee más de 99 321 habitantes estimado (Estatística, 2014). Limita al Norte con el municipio de Cassongue, a Este con el municipio de Londuimbali, al sur con los municipios de Ukuma, Tchinjaenje y Ganda y al Oeste con el municipio de Bocoio. Está subdividido en cuatro comunas: Balombo (sede del municipio), Chindumbo, Chingongo y Maka-Mombolo (fig.3.4). Su actividad económica se basa en gran medida de la agricultura, pecuaria y comercio (Caridad, 2012).



Figura: 3.4 Mapa del municipio de Balombo (Mapa google)

La comunidad de Balombo, al igual que otras comunidades rurales de la República de Angola, se enfrenta a una escasez de energía, sobre todo en electricidad. La capacidad de generación de energía es insuficiente y el transporte y la distribución de ésta se realiza de forma inadecuada debido a la precariedad de las infraestructuras. El gobierno está tratando de aumentar el acceso a la electricidad llevando la energía a sus ciudadanos como medida para sostener el crecimiento económico y desarrollo local. Para ello, el gobierno de Angola está promocionando la inversión privada en el sector de la energía.

Actualmente la comunidad tiene una capacidad instalada de 440 kW proveniente de un grupo electrógeno de 550 KVA, asegurando el abastecimiento de 500 consumidores, instituciones públicas, privadas y alumbrado público (Portalangop.co.ao, 2018). Esto representa que sólo el 0.5 % de la población se privilegia de este servicio.

3.4.1 Determinación de la demanda eléctrica de la comunidad

Para construir la demanda eléctrica de la comunidad, primeramente, se debe obtener la demanda pico de la comunidad acorde a las necesidades energéticas de sus habitantes. Para lo cual se necesitó los datos del consumo de energía per cápita de Angola, de acuerdo con la fuente (Indexmundi, 2018), ver anexo 3.1. Según el gráfico se estimó que en el año 2018 se consumió 284,47 kWh/mes. Se consideró además, el número de total de habitantes de la comunidad, 99 321 habitantes (Estatística, 2014). Sustituyendo estos valores en la expresión matemática (2.1) se obtiene la demanda pico de la comunidad de 40 MW, sin considerar servicios externos.

Teniendo en cuenta los servicios públicos que se presta en el municipio sede de la comunidad como: servicios bancarios, hospital, centros policiales, instituciones educativas, alumbrado público, centros comerciales (tiendas, heladerías, panaderías, farmacias). Según (Baquero, 2016), en su trabajo de grado titulado diseño de un sistema de generación híbrida solar-diésel como alternativa de suministro eléctrico del municipio de Miraflores (Guaviare), a esta demanda estimada se le agrega el consumo promedio mensual de los servicios bancarios con

un valor de 492 kWh/mes, además un hospital 1908 kWh/ mes, centros policiales 656 kWh/h mes, instituciones educativas 100 kWh/mes, centros comerciales 207 kWh/mes. Dimensionando así un sistema de 45 MW, este valor lo emplearemos como referencia para la confección del perfil de carga de la comunidad de Balombo.

3.4.2 Perfil de carga eléctrica de la comunidad.

La confección del perfil de carga de la comunidad se construyó a través de la metodología de la fase (II) y las expresiones de cálculo (2.2 y 2.3). Como datos estadísticos se emplearon 8 perfiles de carga de comunidades rurales en varias regiones del mundo: Botswana; Níger; Nigeria; Uganda; Zimbabwe, Bogotá D.C, Angola, como se puede ver en los anexos 3.2. Se utilizó la razón de carga como valor normalizado. El análisis estadístico se puede apreciar en la figura. 3.5

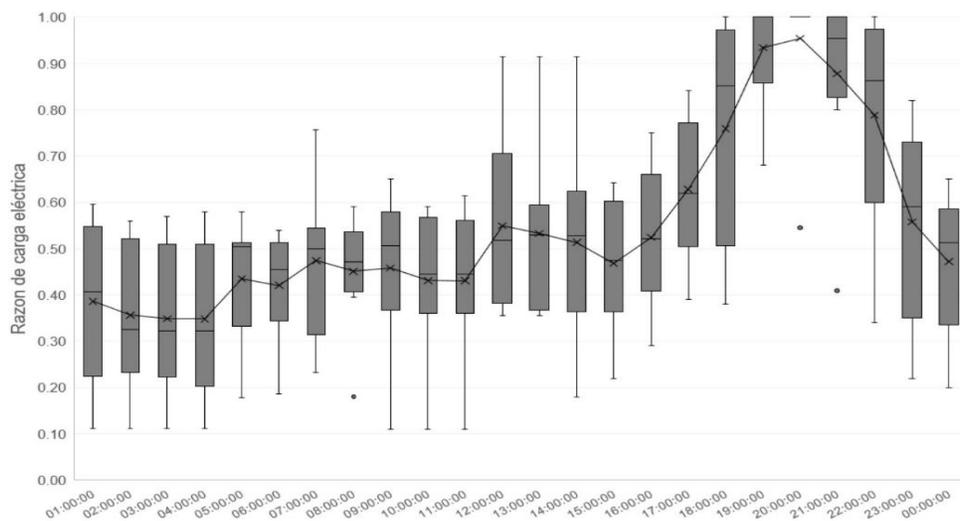


Figura: 3.5 Gráfico de cajas y bigotes de la razón de carga eléctrica en 8 comunidades rurales. Fuente: Elaboración propia.

El perfil de carga de la comunidad se construyó con los valores medios en cada horario. Al mismo se le multiplicó la demanda pico de la comunidad obteniéndose finalmente el perfil de carga de la comunidad de Balombo. Ver figura. 3.6

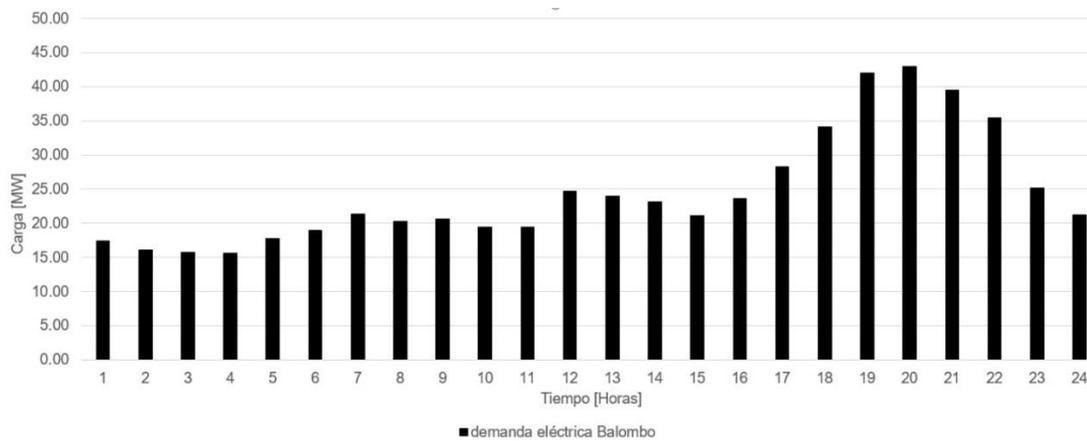


Figura: 3.6 Perfil de demanda eléctrica de la comunidad rural Balombo. Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar el perfil de demanda muestra tres horarios de valores pico, fundamentalmente el horario de la 7 hora de la mañana, 12 horas del mediodía y 8 horas de la noche, siendo este horario el que mayor valor de demanda alcanza, llegando a duplicar el consumo de energía durante un término de 5 horas. Considerando este perfil de carga eléctrica se analizan los potenciales según las fuentes de energías renovables y como se pueden sincronizar para poder cubrir la demanda durante las 24 horas.

3.5 Identificación y análisis de las disponibilidades de los recursos energéticos en la comunidad.

3.5.1 Cuantificación de potencial energético

De acuerdo a la posición geográfica de la comunidad, se hicieron las estimaciones de los recursos renovables que predominan en la región. Los valores de radiación solar se obtuvieron de los registros de estaciones meteorológicas. Para el caso de la biomasa, los cálculos partieron de la cantidad de cabezas de ganado con que cuenta la región y posteriormente el estiércol estimado. Para la energía hidráulica se tuvo en cuenta el programa del sector energético nacional y la información plasmada en (Rede Nacional de Transporte de electricidad, RNT, 2019), (ver anexos: 3.3), donde se pretende llevar una potencia de 60 MVA de energía hidráulica para la subestación de Bocoio, en el marco de electrificación de los municipios de Bocoio y Balombo. Efectuando el mismo procedimiento explicado en

el epígrafe anterior (3.4.2) se determina que el 43% de esta potencia eléctrica será destinada a la comunidad de Bocoio, quedando el 45,86 % (20 MW) para la comunidad de Balombo. La energía hidráulica es capaz de asumir la carga del día, pero no la carga de las horas pico, por lo tanto, se va diseñar un sistema de energía renovable con el desplazamiento de la energía empleando sistemas de acumulación, para cubrir la carga pico.

3.6 Sistema de generación de energía solar

El diseño de generación solar se realizará por el método basado en el balance energético. En la fig. 3.7 se plasma los datos de radiación solar que permitieron dimensionar el sistema de generación de energía eléctrica. Para el efecto se decidió tomar los datos de la NASA de Latitud: -12,58 (12°34'48"S y Longitud: +13,4 (13°24'00"30 E) a una altitud de 20 m, comprendida entre los años 1980 a 2016 a nivel mensual. Ver figura 3.7.

Variable	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Insolation, kWh/m ² /day	5.85	5.78	5.14	5.16	5.38	5.05	5.00	5.37	5.67	5.02	5.12	5.37
Clearness, 0 - 1	0.53	0.53	0.50	0.55	0.64	0.64	0.62	0.60	0.58	0.47	0.47	0.49
Temperature, °C	22.82	22.96	22.85	23.48	24.04	22.33	21.94	23.04	23.89	23.47	22.79	22.85
Wind speed, m/s	3.68	4.19	3.88	4.54	4.59	4.77	5.14	5.34	6.15	4.83	4.46	4.05
Precipitation, mm	21	42	141	80	6	0	0	0	3	17	44	41
Wet days, d	6.0	6.6	9.1	6.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.6	4.7	7.3	7.0

These data were obtained from the NASA Langley Research Center Atmospheric Science Data Center; New et al. 2002

Figura: 3.7 Índice de radiación solar, (Datos mundial, NASA, 2019).

El promedio de radiación solar mensual es de 5.2 kWh/m²/día. Esto hace excepcional el empleo de esta fuente de energía para el montaje de un parque solar fotovoltaico. Teniendo en cuenta que independientemente de la estación de año los valores de radiación se mantienen constantes, se utilizó este valor promedio para el cálculo del número de paneles necesarios a instalar

3.7 Dimensionamiento del parque fotovoltaico.

Como dato de partida consideramos dimensionar un parque fotovoltaico de 2.5 MW de potencia pico nominal. El módulo seleccionado es el módulo Policristalino TSM-

250 PC/PA05 de dimensiones 1650 mm x 941 mm con una potencia de 250 Wp y una eficiencia del 15,3 % según el fabricante (ver anexos 3.4). El total de paneles a instalar está dado por la expresión (2.4). Los módulos fotovoltaicos estarán distribuidos por 46 filas de 45 módulos y una fila de 18 módulos, dando así un total de 47 filas separada por una distancia de 0,69 m entre ellas con una inclinación 15° al norte sobre la horizontal para favorecer la radiación invernal.

El inversor seleccionado es de la marca SMA, el modelo empleado será el Sunny Central 250 con las siguientes características según la ficha técnica (ver anexos 3.5), lo cuales tienen una potencia nominal de 262 kW y una tensión máxima de 450-820V. Se determina el total de inversores según la expresión de cálculo (2.9). La relación entre la potencia pico en el generador fotovoltaico y la potencia nominal del inversor es 0.95 dado por la expresión (2.10).

El máximo y el mínimo número de módulos en serie permite configurar la tensión del campo y está dado por la expresión (2.6 y 2.8). Aplicando el criterio de temperatura de las expresiones (2.5 y 2.7). El número total de modulo en paralelo esta dado per la expresión (2.11). La tensión MPP e intensidad MPP de la entrada al inversor en condiciones STC, se obtiene: multiplicando el voltaje máximo del módulo por la (Ec.2.6), para la tensión y para la intensidad, se obtiene multiplicando la corriente máxima del módulo por la (expresión 2.11), dando así un voltaje de 606 V y una intensidad de 380,4 A. Para comprobar que no sobrepase la intensidad máxima del inversor que es de 591 A, siendo la intensidad del módulo en cortocircuito es de 8,85 A, se aplica la expresión (2.12). Los resultados generales del campo fotovoltaico diseñado se muestran en la tabla 3.1

Tabla: 3.1 Resumen de los cálculos efectuado a los componentes del Sistema Solar Fotovoltaico.	
Potencia instalada	2,5 MW
Número total de módulos fotovoltaicos	2 088 u
Área total cubierta	1 700 m ²
Número máximo de módulos en serie	20 u
Número mínimo de módulos en serie	18 u
Número de módulos en paralelo	10 u
Número total de inversor	10 u

Tensión de operación de los módulos	606 V
Intensidad de operación de los módulos	82,7 A
Potencia de salida del campo (verano)	8 137,4 kWh
Potencia de salida del campo (invierno)	5 206,84 kWh,

La modelación de la curva de la potencia eléctrica a la salida del campo fotovoltaico (fig. 3.8), se obtiene a partir de las expresiones de cálculo 2.15-2.16 expuesta en la metodología en el epígrafe 2.7, ayudo a saber a qué hora del día se produce más energía y la cantidad de energía del sistema fotovoltaico que se debe acumular en el banco de las baterías. Con esto se debe tener presente las horas de radiación solar al día aprovechables en las cuales el sistema fotovoltaico debe estar operando en horas de poca radiación.

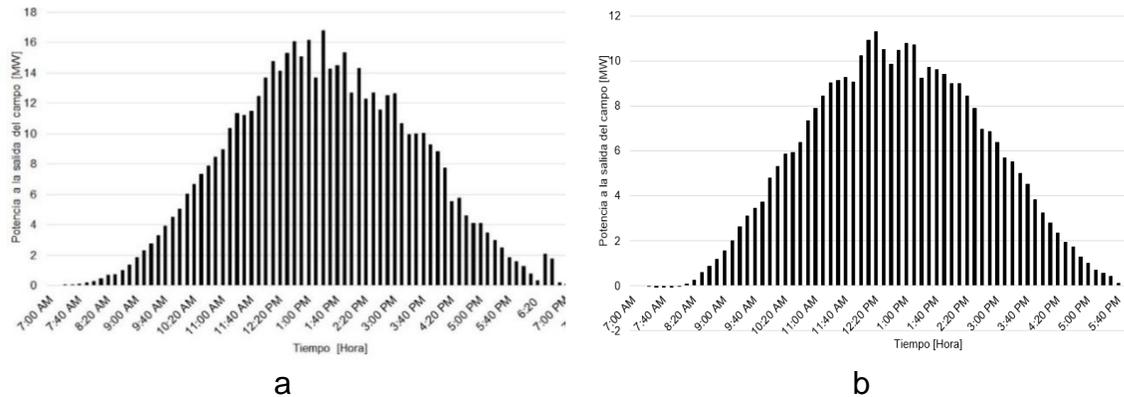


Figura: 3.8. Potencia a la salida del campo en función del tiempo en a) día de verano; b) día de invierno. Fuente: Elaboración propia

En estas (fig. 3.8) se puede observar la fluctuación de la energía que sale del campo solar en cada 10 minutos, este sistema de generación depende de la radiación y de la temperatura. Es importante establecer que el sistema debe entrar en operación desde el momento que la radiación solar comienza. Las horas de radiación que no son pico, también son importantes por eso se dispone un horario de trabajo del sistema fotovoltaico que comprende prácticamente de las 7:00 horas de la mañana hasta las 5:00 horas de la tarde, eso para un día de verano, gráfica 3.8 a) suministrando una energía eléctrica de 8 137,4 kWh. Para un día de invierno figura 3.8 b) el sistema entrega un total de 5 206,84 kWh, (es de vital importancia que los

paneles no los cubra sombra alguna de las 10:00 horas de la mañana hasta las 3:00 horas de la tarde), ya que es el momento de mayor captación solar del sistema.

3.8 Sistema de generación de biogás

La comunidad de Balombo tiene en total 2500 cabezas de ganado específicamente bueyes. Un 8% diario de su peso en excreta se calcula el total de estiércol dado por la expresión 2.19. La relación estiércol por agua dado por la (Ec. 2.28), teniendo en cuenta que la proporción para la dilución del estiércol en agua, es de: 2 kg de agua por cada kg de estiércol, garantizando así las condiciones críticas de operación, el funcionamiento óptimo del biodigestor en cualquier época del año se asume una temperatura de 25 °C y 30 días de fermentación, tiempo requerido para biodegradar la materia prima alimentada tabla: 2.7, teniendo en cuenta las variaciones de la temperatura, se multiplica los días de fermentación estimado por el coeficiente de temperatura dando así, 39 días de retención de la materia. El sistema de generación de biogás, también está diseñado para almacenar la energía primaria mediante un biodigestor de tipo laguna con un volumen total de 3 120 m^3 y 1 600 m^3 de biogás. Las características generales del biodigestor se muestran en la tabla 3.3

Tabla: 3.3 Características del diseño de biodigestor. Fuente: elaboración propia	
Cantidad de animal	2500
Total del estiércol	40 000 $kg_{estiércol/día}$
Volumen del afluente	200 $V_{Af}[m^3]$
Tiempo de retención	39 $T_{retención}$
Volumen del biodigestor	3 120 $V_{Bio}[m^3]$
Biogás día producido	1 600 $B_{iogas\ día}$

3.8.1 Planta de generación eléctrica empleando biogás

Cada m^3 de biogás contiene aproximadamente el equivalente a 6 kWh de energía eléctrica. Sin embargo, cuando se transforma la energía del biogás en energía eléctrica en un generador preparado para este fin, solamente se obtienen 2 kWh de energía útil, ya que el resto se pierde en forma de calor y en cada m^3 de biogás

contiene aproximadamente el equivalente $0,6 l_{ts \text{ de gasoil}}$ (IBARROLA & MANUEL, 2014). Ver tabla 3.4

Tabla: 3.4 Volumen de biogás y su equivalencia a energía eléctrica. Fuente: Elaboración propia	
Volumen de biogás por vaca y día	$0,64 m^3 de \frac{biogás}{vacas} . días$
Volumen de biogás por día	$1600 m^3 biogás / día$
Volumen de biogás por año	$584000 m^3 biogás / año$
Equivalencia de biogás a gas oil	$3504000 l_{ts \text{ de gasoil}} / año$
Equivalencia de biogás a energía eléctrica	$1168000 kW/año$

En el presente diseño se considera la variante de almacenar el biogás (con el empleo de un reservorio de biogás) producido durante el día para posteriormente accionar un generador eléctrico durante el horario pico nocturno. Esta decisión se basa en el déficit de potencia eléctrica instalada durante ese periodo. Para trabajar 4 horas al día, el generador seleccionado tendrá una potencia de 660 kW y un consumo de biogás de $0,53 \frac{m^3}{kW} . h$, las características técnicas se muestran en el (anexo: 3.6) Los datos generales de este sistema se muestran en la tabla 3.5

Tabla: 3.5 Energía eléctrica generada en 4 horas. Fuente :Elaboración propia	
Consumo del generador por hora	$349,8 \frac{m^3}{h}$
Consumo de biogás en 4 horas	$1399,2 m^3$
Energía eléctrica generada en 1 horas	$660 kWh$
Energía eléctrica generada en 4 horas	$2 640 kWh$

3.9 Potencial teórico total proyectado

Según la proyección realizada, el municipio tendrá un perfil de carga aproximado de (45 MW) al día con 24 horas de servicio, de los cuales 8,1374 MW serán generados por el sistema fotovoltaico que suministrará la energía en el sistema durante 11 horas al día en un día de verano, es decir de las 8:00 de la mañana hasta 6:00 de la tarde, la biomasa con 2,64 MW de potencia y 4 horas de suministro de energía en la hora pico, la energía hídrica proveniente de la subestación de Bocoio tendrá

una capacidad de (20,64MW), diseñado para suministrar la energía durante las 24 hora/día como se puede observar en la fig.3.10

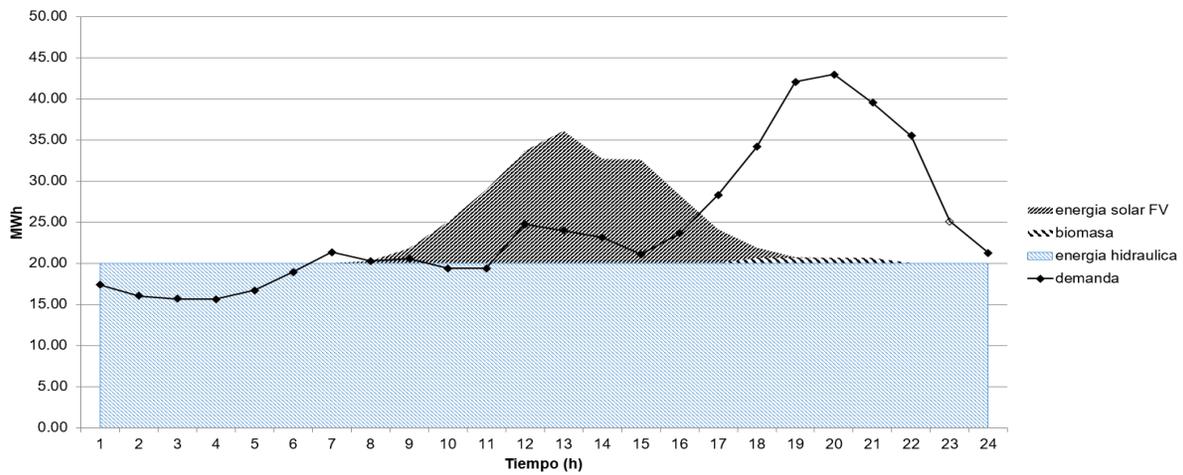


Figura: 3.10 Carga generada por cada sub-sistema del esquema de generación distribuida de Balombo. Elaboración propia

La distribución de la carga en el perfil de las 24 horas se basa en la disponibilidad de los recursos como se puede observar en la figura 3.10. Pero una dificultad de este tipo de sistema es que por encima de la curva de la demanda hay un excedente de energía hídrica en el horario comprendido de las 1:00 horas de la mañana hasta las 6:00 de la mañana y la mayor entrega de energía solar ocurre en las horas que menos se necesita de las 8:00 horas de la mañana hasta las 4:00 de la tarde. Esto provoca un déficit importante de energía de 82,94 MWh que se debe acumular por sistema de banco de baterías, desplazándola así en las horas pico de la noche.

3.10 Almacenamiento de energía

Para el almacenamiento de la energía se ha elegido las baterías de ión-litio que a pesar de su alto coste tienen una alta densidad de energía: 300-400 kWh/m³, alto rendimiento y su ciclo de vida largo. Para la categoría de aplicación en transporte y distribución, el coste de la batería de ión-litio por unidad de energía es de 500 \$/kWh y por unidad de potencia 175 \$/kW

Densidad de Energía	10,8 – 14,40 MJ/m ³
Rango de Energía	36 · 10 ³ MJ
Rango de Potencia	0,1 – 10 MW
Tiempo de Carga y Descarga	Horas – Minutos
Ciclos de Carga/Descarga	4500 ciclos
Rendimiento	94 %
Mínimo Estado de Carga	10 %
Coste de Instalación	530 €/kWh
Coste de Mantenimiento al Año	3 €/kWh

Figura: 3.11 Características de una batería de ión-litio. (Romero, 2014)

La cantidad de la batería que se necesita para acumular el excedente de energía del sistema se determina mediante la expresión (2.18), y la potencia nominal de la batería es de 10 MW. (Ver anexos: 3.7). El costo del almacenamiento energético C_A , el cual es proporcional a la capacidad energética de almacenamiento está dado por la expresión (2.20), donde el costo por unidad de potencia es 175 \$/kW, la capacidad de almacenamiento es de 82,94 MW y la eficiencia de la batería es de 94%. En la fig. 3.12 se refleja el desplazamiento de la energía excedente del sistema solar e hídrico en las horas pico de la noche.

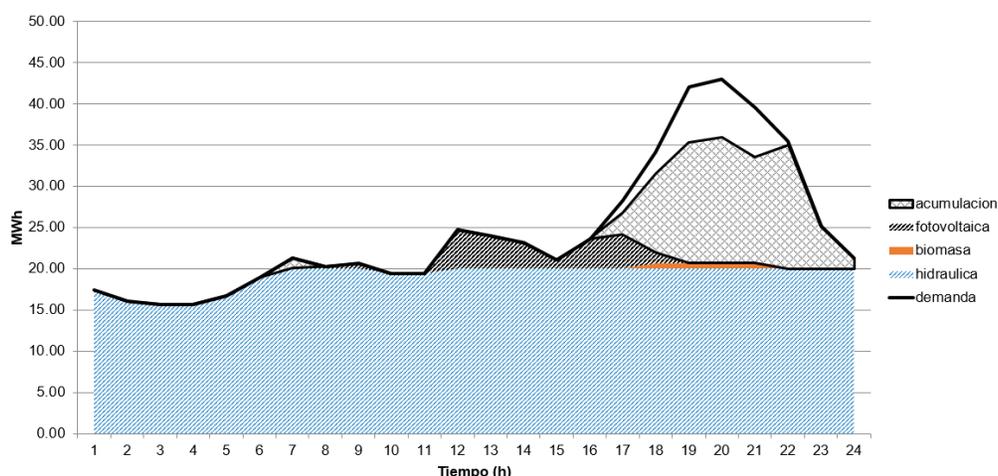


Figura: 3.12 Carga generada, almacenada y desplazada por cada sub-sistema del esquema de generación distribuida de Balombo. Elaboración propia

La cantidad de energía producida por el sistema en 24 h es de 586,65 MW, con una cobertura de 83,46% de la demanda eléctrica registrando un déficit 21,65 MW de energía, que representa un 3,68 % del total que no se podrá cubrir en las horas

comprendidas de las 04:00 de la tarde hasta las 12:00 de la noche como se ilustra en la fig.3.10.1. Se especifica además que en el desplazamiento de la energía se tuvo en cuenta el generador de 550 kVa instalado en la comunidad.

Teniendo en cuenta que el sistema no es capaz de satisfacer el 100 % de la demanda, se proponen en vez de incrementar la carga instalada, aplicar medidas de eficiencia energética. De esta forma también se puede contribuir al empleo eficiente de los recursos energético y a la cultura general integral de dicha comunidad. (Ver anexo: 3.8). Un resumen de estas medidas propuesta (Moreno, Silva, & Tanides, 2017), para difundir y generar conciencia sobre buenos hábitos de uso y consumo como son:

- Apagar los electrodomésticos y desconectarlos cuando no se los esté usando.
- Mantener limpios los electrodomésticos, libres de polvo.
- No introducir alimentos calientes en el congelador.
- Los modelos de refrigerador que tienen el compartimiento del congelador en la parte superior consumen entre 7 y 13% menos energía que los modelos que lo tienen en un lado.
- Aprovechar al máximo la capacidad de la lavadora y secadora de ropa.
- Procurar secar la ropa al aire libre.
- Mantener bajos los niveles de iluminación en el lugar donde está instalado el televisor.
- Planchar la mayor cantidad de ropa en cada sesión.
- Permitir la circulación de aire por la parte trasera del frigorífico y que esté alejado de focos de calor o de la radiación solar directa.
- Descongelar el refrigerador antes de que la capa de hielo alcance 3mm de espesor: podrá conseguir ahorros de hasta el 30% (IDAE, 2011).
- Un buen diseño bioclimático puede conseguir ahorros entre 50 y 70% para la climatización e iluminación de una vivienda
- Orientar la vivienda hacia el norte para lograr la iluminación natural sin necesidad de encender las luces durante el día.

- La sustitución de electrodomésticos convencionales por aquellos de menor consumo
- Aislar los techos mediante aislantes térmicos o aprovechar las sombras naturales como las cubiertas de los árboles etc.

3.11 Inversión inicial e impacto ambiental

En la presente investigación se efectuó una comparación económica y ambiental del sistema de generación distribuida propuesto (sistema 1). Para efectuar dicha comparación se consideró como sistema base la generación de electricidad con el empleo de un grupo electrógeno de diésel, utilizando generadores similares a los que ahora están en funcionamiento en la comunidad, que cubren el 100 % de la demanda. (Sistema 2), el cual tienen las siguientes características según el fabricante (Ver anexos: 3.9)

Al respecto del grupo electrógeno se señala que el impacto ambiental está estrechamente relacionado como un problema social surgido por la utilización creciente de los mismos: el aumento de los niveles de emisión de sustancias tóxicas y de los llamados gases de invernadero, y el aumento de los niveles de ruido. Las discusiones internacionales acerca de las causas e implicaciones para la humanidad del llamado efecto invernadero, provocado por las crecientes emisiones a la atmósfera de gases tales como: CO₂, metano, óxido nitroso y los cloro-fluorocarbonatos, reflejan la necesidad de un enfoque integral en el tratamiento de los problemas ambientales y del desarrollo, así como la necesidad de una acción concertada de la comunidad internacional para mitigar los efectos del calentamiento global.

Se ha descrito por (Varona & Arocha, 2007). Que estos sistemas actúan sobre el medio ambiente de diversas formas tales como; agotamiento de materias primas no renovables consumidas durante el funcionamiento, consumo de oxígeno que contiene el aire atmosférico, emisión y contaminación de la atmósfera con gases tóxicos que perjudican al hombre, la flora y la fauna, emisión de sustancias que provocan el llamado efecto invernadero contribuyendo a la elevación de la

temperatura de nuestro planeta, emisión de altos niveles de ruido a la atmósfera , ocasionando molestias en sentido general.

En el (anexo: 3.10) se muestra el costo de los componentes principales del sistema de generación distribuida y del sistema convencional. Además, para el análisis ambiental se consideró que para un generador eléctrico el impacto ambiental se determina a través de los siguientes indicadores: emisiones de CO, CO₂, NO_x, tomados de la (Ruiz & Alvarado, 2018). La figura 3.13 refleja el análisis comparativo.

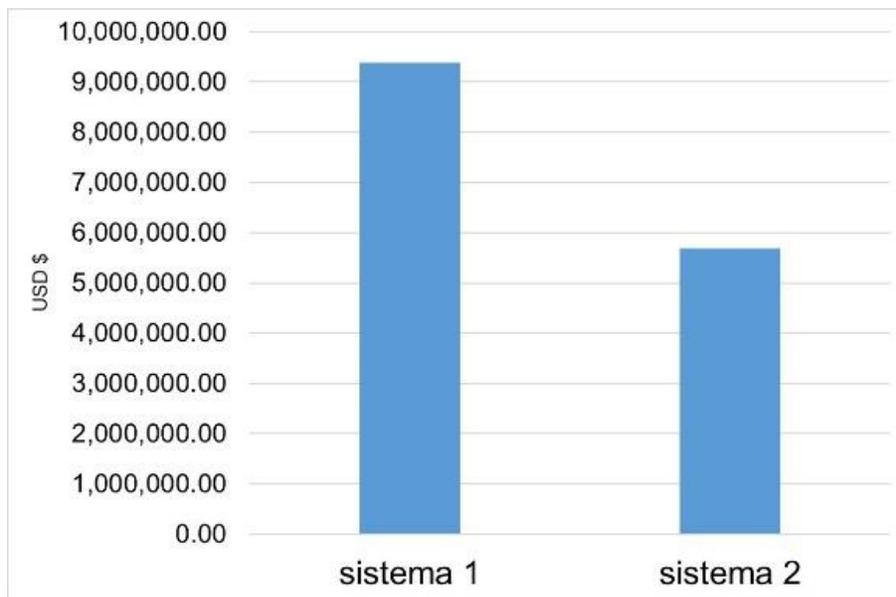


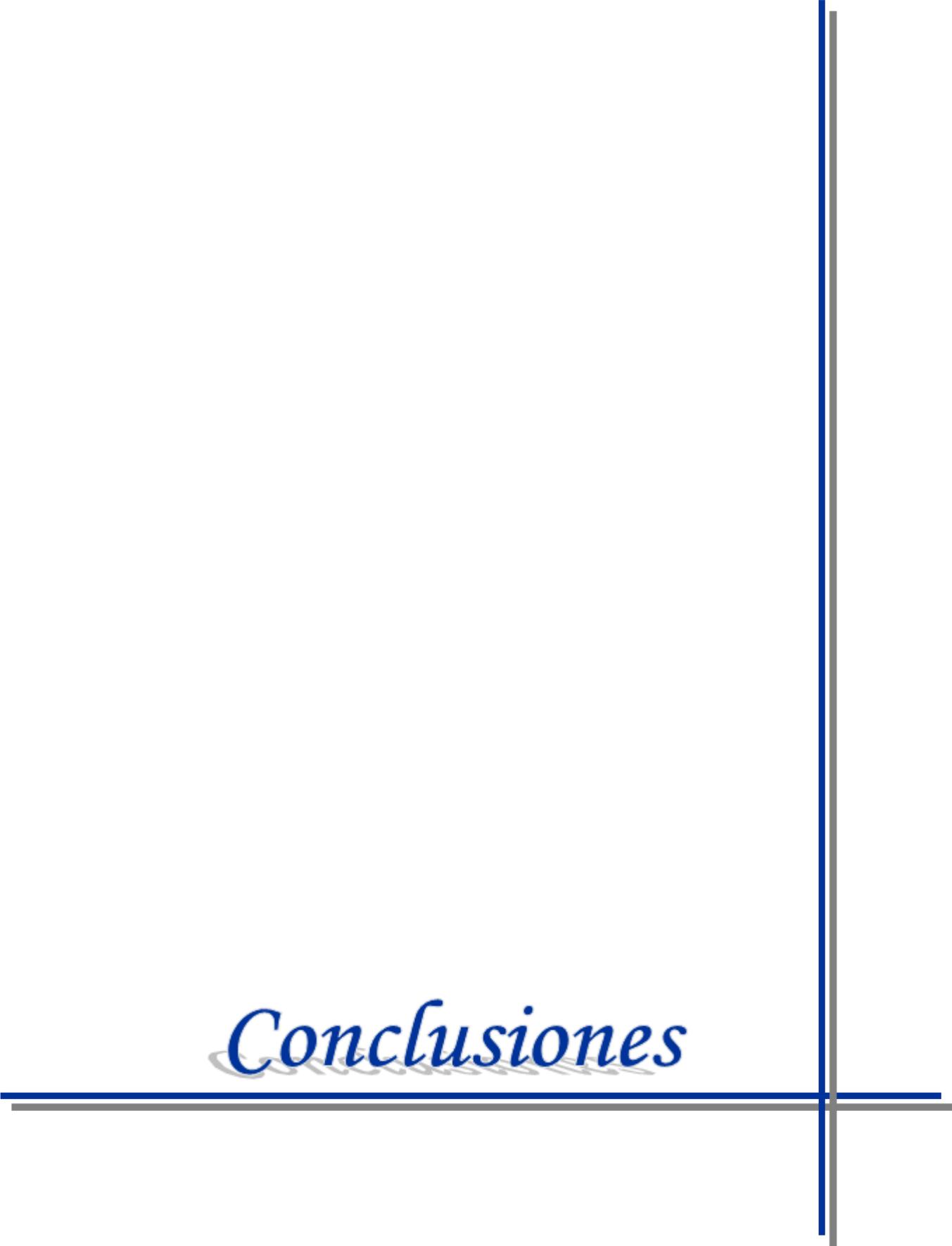
Figura 3.13 Análisis comparativo de la inversión inicial entre el sistema propuesto y un sistema convencional

Como se aprecia en la figura 3.13 el sistema de generación distribuida propuesto (sistema 1) tiene un incremento del 40 % del costo total de la inversión. No se efectuó el análisis de la recuperación de esa inversión por no contar con datos financieros de la región. No obstante, el análisis del impacto ambiental asociado al consumo de diésel por el grupo electrógeno demuestra la importancia del empleo de las fuentes renovables puesto que el sistema 2 emitiría en el día un total de 306 Ton de CO₂, 0.01 Ton de CO y 1.72 Ton de NO_x, comparado con el sistema 1 que sólo emitiría un total de 0.23 Ton de CO₂ por el pequeño generador de 550 kVa que posee. Concluyendo que el sistema propuesto no sólo es factible, sino que a su vez es vital construir sistemas amigables con el medio ambiente.

3.12 Conclusiones parciales del capítulo III

1. Se analizó la situación energética y los recursos energéticos disponibles en el país y en el municipio de Balombo.
2. Se determinó la demanda máxima de la comunidad de Balombo de 45 MW, considerando el consumo per cápita y servicios externos.
3. Se estableció el perfil de carga de la comunidad a partir de datos estadísticos de comunidades rurales a nivel mundial y el valor de la demanda máxima. El perfil mostro la existencia de tres horarios pico, siendo el horario pico de la noche el de mayor demanda eléctrica, superando hasta dos veces el valor medio
4. Se diseñó un esquema de generación distribuida compuesta por 20 MW proveniente de la central hidroeléctrica de Biopio; biomasa (0.66 MW) y solar (2,5 MW)
5. El sistema de diseñado garantiza un 83,46% de la demanda, pero la forma de cómo se entrega la energía no está en correspondencia con el perfil de la demanda, por lo tanto se diseñó un sistema de almacenamiento de un banco de batería de ion-litio capaz de desplazar la carga en el horario pico de la noche.
6. La carga desplazada solamente deja de contribuir un 3,68% para cubrir toda la demanda.
7. El análisis de comparación económica y ambiental del sistema de generación distribuida propuesto, se consideró como sistema base la generación de electricidad con el empleo de un grupo electrógeno de diésel.
8. Se demostró que el sistema de generación distribuida propuesto tiene un incremento del 40 % del costo total de la inversión en relación al sistema diésel, pero la aplicación del mismo evita la emisión diaria de 306 Ton de CO₂, 0.01 Ton de CO y 1.72 Ton de NO_x

Conclusiones



3.13 Conclusiones generales

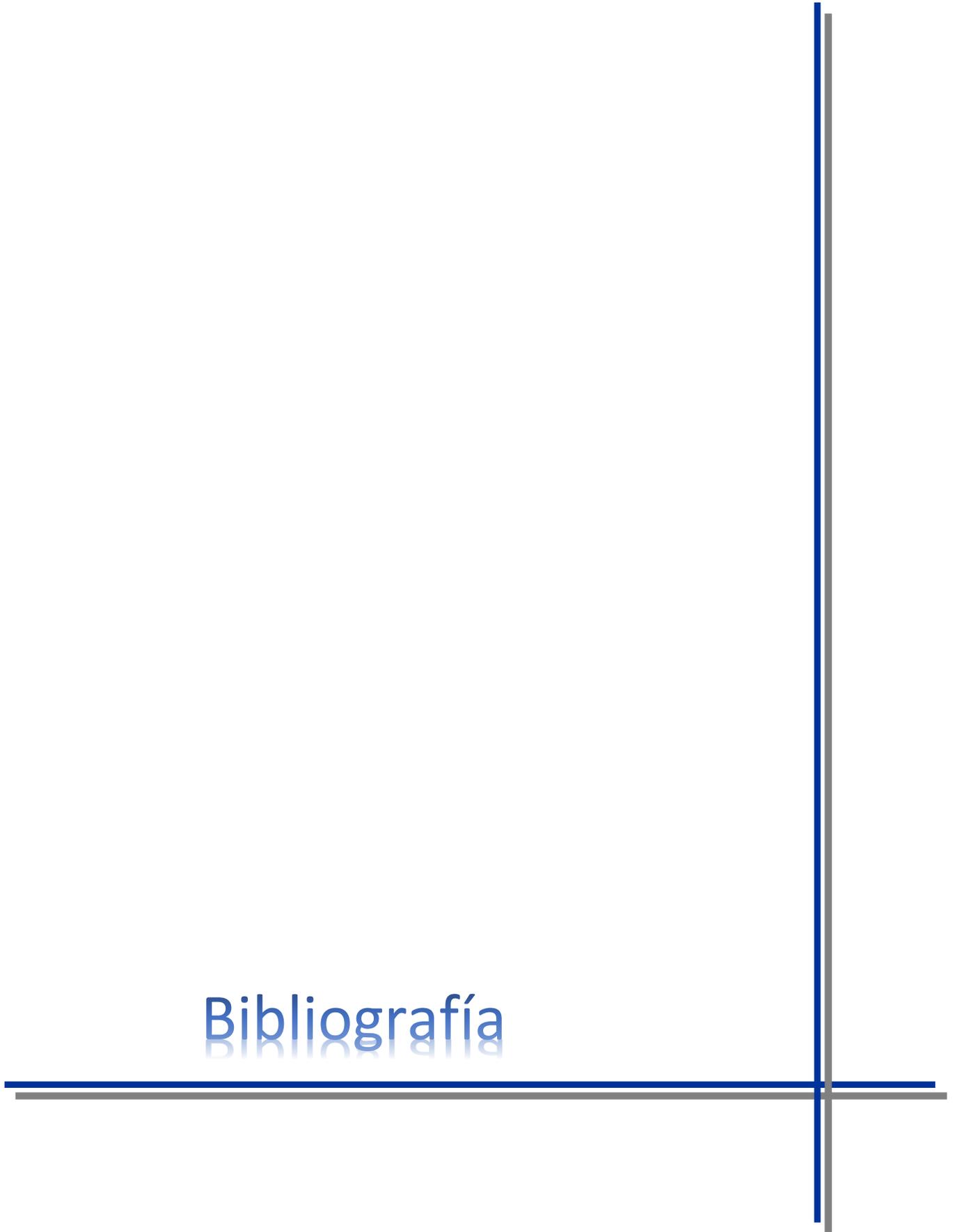
1. La comunidad de Balombo posee un sistema eléctrico que no es capaz de satisfacer la demanda de energía. La implementación del sistema de generación distribuido en la comunidad de Balombo va permitir un incremento de desarrollo local. Y disminuirá el impacto ambiental asociado.
2. La comunidad de Balombo posee un potencial del empleo de FRE a través de la energía hidráulica, solar y Biomasa no cañera.
3. Se consultaron varias metodologías expuestas en la literatura para el dimensionamiento y evaluación energética de los sistemas solar fotovoltaico y generación de gas mediante biodigestores. El sistema fotovoltaico está compuesto por 2008 paneles que generan un total de 8 137,4 kWh-día y el sistema de biogás es capaz de generar 1600 m³ de gas equivalente a 2640 kWh-día
4. El sistema compuesto por campo fotovoltaico de 2,5 MW, 2.64 MW de biomasa y 23,46 MW del potencial hídrico. El mismo garantizará un 83,46% de la demanda, pero la inclusión de los grupos de batería permitirá desplazar la demanda en un 82,94 MW en las horas pico de la noche.
9. El análisis comparativo con un sistema convencional demostró aunque hay un incremento de 40% de la inversión inicial disminuye considerablemente el impacto ambiental asociado evitando la emisión diaria de 306 Ton de CO₂, 0.01 Ton de CO y 1.72 Ton de NO_x

Recomendaciones

3.14 Recomendaciones

1. Hacer el estudio de factibilidad económica.
2. Hacer un estudio profundo de los recursos hídricos existentes en la comunidad
3. Dar continuidad a los estudios de energía de biomasa, evaluar las propiedades de otros tipos de materia orgánica
4. Emplear el software Homer Energy Pro (utilizado para el diseño y el análisis de desempeño. Considera un sistema fotovoltaico, un sistema eólico, un sistema de biomasa y una planta diésel aislados como conectados a la red), para validar los resultados obtenidos

Bibliografía



Bibliografía

- Agencia Internacional de Energía, IEA. (2009). *The first energy village in Jühnde*. Conferencia de Clase, Bioenergy, Germany. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de http://www.ieabiogas.net/_download/biogas_village.pdf
- Agency, I. E. (2011). *Eergy Poverty: The missing Millenium Development Goal?*
- Angop. (22 de jenero de 2018). *Potencia instalada y desponible de Angola*. Obtenido de https://www.angop.ao/angola/pt_pt/noticias/economia/2018/0/4/Ministerio-Energia-Aguas-quer-parceria-com-Angop
- ARBOLEDA, C. A., & MADRIGAL, H. P. (2009). *SISTEMAS HÍBRIDOS EÓLICO-SOLAR Y EÓLICO-DIESEL (ES/ED)*.
- Baquero, C. C. (2016). *Diseño de un sistema de generación híbrida solar-diésel como alternativa de suministro eléctrico del municipio de Miraflores*. Tese de Grado, Universidad de Lasalle, BOGOTÁ D.C.
- Basnet, A. (2012). *“Architctural Integration of Photovoltaic and Solar Thermal Collector Systems into buildings,”*.
- BHATTACHARYYA, S. (2006). *Energy access problem of the poor in India: is rural electrificacion a remedy? Energy Policy*.
- Birol, F. (2011). *Eergy Poverty: The missing Millenium Development Goal? International Energy Agency*.
- Bits. (10 de Maio de 2019). *ángulo de inclinación recomendado*. Recuperado el 10 de Maio de 2019, de www.bits.com.ec
- C. E. C. Nogueira, J. B. (2015). *“Performance of monocrystalline and polycrystalline solar panels in a water pumping system in Brazil,”*.
- Caridad, I. M. (03 de Julio de 2012). *Actividad económica do Balombo*. Recuperado el 05 de Junio de 2019, de <http://www.amigostercermundo.org/component/igallery/proyectos-atm/angola-balombo>
- Carnegie, R. y. (2013). *Utility Scale Energy Storage Systems: Benefits, Applications, and Technologies*. Inf. téc.StateUtilityForecastingGroup. .
- Carolina, L. C., & Óscar, R. p. (2015). *Central Generadora Hidroeléctrica*. México. Obtenido de https://www.academia.edu/29805285/Trabajo_final_de_la_central_hidroelectrica
- Cepeda, J. S. (2016). *Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones*. Bogotá.
- CHERNI, J. y. (2009). *Energy and policy providing for sustainable rural livelihoods in remote locations – The case of Cuba*. Geoforum.
- Collado, C. F. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: Mexicana, Reg. Núm. 736.

- Collado, C. M. (2014). *Volumen de biodigestores*.
- COOK, P. (2011). *Infrastructure, rural electrification and development. Energy for Sustainable Development*.
- COUNCIL, W. E. (2006). *Alleviating Urban Energy Poverty in Latin America*.
- Datos mundial, NASA. (2019). *Registro de Radiación solar de Benguela*. Recuperado el 20 de Abril de 2019, de , <https://www.gaisma.com/en/location/benguela.html>
- Dirección General de Industrias y Energía. (2016). *GUIA TÉCNICA DE APLICACIÓN PARA INSTALACIONES DE ENERGÍAS RENOVABLES*. GOBIERNO DE CANARIAS CONSEJERIA DE INDUSTRIA, COMERCIO Y NUEVAS TECNOLOGÍAS , COMERCIO Y NUEVAS TECNOLOGÍAS , Canarias.
- Estatística, I. N. (2014). *Census 2014*. Instituto Nacional de Estatística ,INE. Luanda – Angola: Instituto Nacional de Estatística. Recuperado el 26 de Enero de 2019, de www.ine.gov.ao
- FORERO, A. (2006). *Producción de biogás con fines energéticos. De lo histórico a lo estratégico*. TRABAJO DE GRADO, UNIVERSIDAD LIBRE FACULTAD DE INGENIERÍA, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL , BOGOTÁ. Obtenido de www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/produccion_biogas.pdf: p-cientifica/coloquioerdal/27HJuanjoseverdesioLtt.pdf
- FREITAS, M., & PEREIRA, S. (2010). *Rural electrification and energy poverty: Empirical evidences from Brazil. Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Govermen, D. o. (2017). *Global Energy Storage Database*. Recuperado el 15 de Junio de 2019, de <http://www.energystorageexchange.org/projects>
- Granados L. Silva. (2013). *Propuesta de energización rural: Innovación social para el desarrollo sostenible*. Lima.
- Grothusen, M., & Rosenberg, F. (2016). *BIOGÁS DE RESIDUOS AGROPECUARIOS EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS*. Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP). Valdivia: Alfredo Erlwein Vicuña. Recuperado el 27 de maio de 2019
- IBARROLA, E., & MANUEL, Q. (2014). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICOECONÓMICA PARA LA INSTALACIÓN DE BIODIGESTORES EN UN FEEDLOT*. Tese, Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Buenos Aires.
- IDAE, I. p. (2011). *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red*. Guía de Instalacion Fotovoltaica, Madrid.
- Indexmundi. (20 de Septiembre de 2018). *consumo de energía per cápita de Angola*. Obtenido de www.indexmundi.com/
- Interlusófona. (9 de Novembbro de 2018). *Taxa de eletrificação de Angola* . Obtenido de <https://interlusofona.info/taxa-de-eletrificacao-de-angola-ainda-nos-42-ministro-da-energia/>

- IRENA, I. R. (2017). *Repensando la Energia 2017*. Ginebra.
- Jornal de angola. (20 de Maio de 2017). *Central bioenergetico de Angola, BIOCOM*. Obtenido de http://jornaldeangola.sapo.ao/economia/biocom_alimenta_rede_de_electricidade
- Jornaldeangola. (4 de Agosto de 2017). *Proyecto "Angola Energía 2025", Grandes hidrica de Angola*. Obtenido de http://jornaldeangola.sapo.ao/reportagem/lauca_entra_em_producao
- López, C. (2016). *PROJETO DE MAPEAMENTO DOS VENTOS (ANGOLA)*. Luanda. Obtenido de www.minea.com
- MINISTÉRIO DA ENERGIA E ÁGUA. (2011). *As energias limpas como factor de desenvolvimento em Angola*. Energia , Luanda. Obtenido de www.minea.com
- Ministério da Energia e Águas, M. (2014). *ATLA E ESTRATÉGIA NACIONAL PARA AS NOVAS ENERGIAS RENOVÁVEIS*. LUANDA. Obtenido de www.minea.com
- Ministerio de Energia e Água, M. (17 de Abril de 2019). *Facebook.com*. Recuperado el 20 de Maio de 2019, de www.Facebook.com
- Ministerio de Energia e Água, MINEA. (10 de 04 de 2014). *Aldeia solar de cabiri*. Obtenido de <https://www.edp.com/pt-pt/angola-aldeia-solar-de-cabiri>
- Ministerio de Energia e Água. MINEA. (2015). *Avaliação rápida e análise de lacunas de angola*. Luanda. Obtenido de www.minea.com
- Mohiabadi, M. a. (2017). *"A comparative analysis of long-term field test of monocrystalline and polycrystalline PV power generation in semiarid climate conditions,"*.
- Moreno, M. T. (2011). *Manual de Biogás*. (" R. Renovables", Ed.) Santiago de Chile, Santiago , Chile: Proyecto CHI/00/G32.
- Moreno, S., Silva, M., & Tanides, C. (2017). *Uso Racional y Eficiente de la Energia*. Buenos Aires.
- O'NEILL, D., & ELLIS-JONES, J. T. (2002). *Rural development: and engineering perspective on sustainable smallholder farming in developing countries*. *Biosystems Engineering*,.
- Organización de la Naciones Unidas, O. (2010). *Resolución A/RES/65/151: Año Internacional de la Energía Sostenible para Todos*. ONU, Energía, New York.
- Portalangop. (17 de Junio de 2016). *Energía eolica no Namibe-Tombwa*. Obtenido de <https://m.portalangop.co.ao/angola/pt>
- Portalangop.co.ao. (15 de 06 de 2018). http://m.portalangop.co.ao/angola/pt_pt/noticias/sociedade/2007/5/24/Benguela-Restabelecido-fornecimento-energia-electrica-Balombo.
- Prado M, C. (2008). *Diseño De Un Sistema Eléctrico Fotovoltaico Para Una Comunidad Aislada*.
- Rede Nacional de transporte de Electricidade, R. (20 de Maio de 2019). <http://www.rnt.co.ao>. Obtenido de <http://www.rnt.co.ao/pt/rede-de-transporte-de-electricidade/mapa-da-rede/>

- Rede Nacional de Transporte de electricidade,RNT. (17 de junio de 2019). *Planeamento do sistema Energetico de Angola*. Obtenido de www.rnt.co.ao/pt/
- REN21, R. E. (2016). *ENERGÍAS RENOVABLES 2016 REPORTE DE LA SITUACIÓN MUNDIAL*. ENERGÍAS, Madrid.
- Romero, A. H. (2014). *Análisis economico de almacenamiento para la distribución en un parque eólico*. UNIVERSIDAD DE SEVILLA, INGENIERÍA , Sevilla. Recuperado el 08 de Junio de 2019
- Rubio, C. R. (2015). LAS COMUNIDADES ENERGÉTICAS Y LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA. *Aula Greecities*. Málaga.
- Ruiz, E. M., & Alvarado, J. (1 de octubre de 2018). Factores de emision de CO, CO 2, NOx y SO2 para instalaciones generadoras de electricidad en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología, Vol.24, (No.1), 7*. Recuperado el 16 de junio de 2019
- Solar Energy, International. (2007). *Manual de diseño e intalacion fotovoltaica*. Guia Tecnica, Energia, Chile.
- Sundararagavan, S., & Baker, E. (2012). *“Evaluating energy storage technologies for wind power integration”*.
- Varona, M. M., & Arocha, A. F. (2007). *Grupos electrógenos y su impacto ambiental*. Higiene y Sanidad Ambiental, Habana, Cuba.
- Ventura, L., & Payán, M. (2016). *Análisis Global de los Sistemas de Almacenamiento de Energía Eléctrica*. Maestria, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla , Departamento de Ingeniería Eléctrica, Sevilla.
- Verdesio, J. J. (10 de Maio de 2019). <http://www.depfe.unam.mx/>. Obtenido de <http://www.depfe.unam.mx/p-cientifica/coloquioerdal/27HJuanjoseverdesioLtt.pdf>
- Vicuña, D. M., & Pizarro, J. E. (2015). *ELECTRICIDAD, DESARROLLO RURAL Y BUEN VIVIR*. Mexico.

Anexos

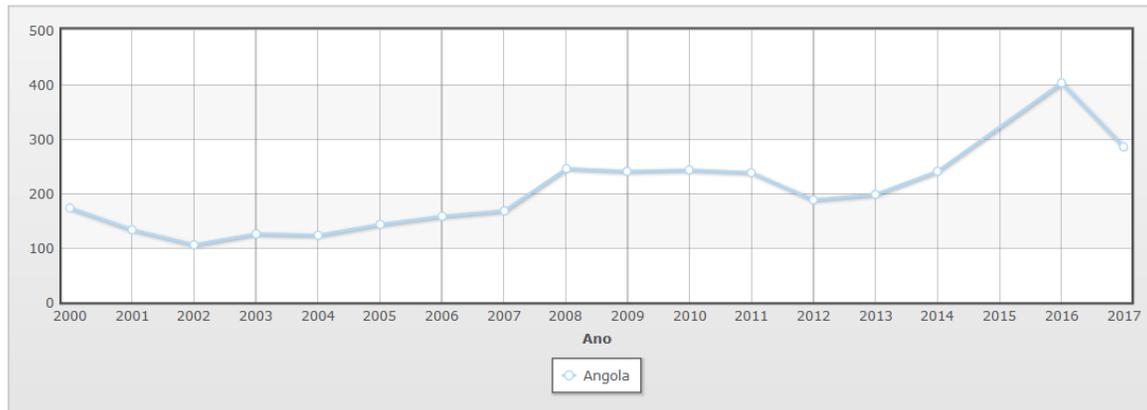
Anexos

Anexos 1.1 Potencia instalada de sistemas de almacenamiento por países en MW.

País	Potencia instalada total (MW)	Operacionales (MW)	Porcentaje (%)
Antártida	1	1	100.00
Argentina	974	974	100.00
Aruba	5		0.00
Australia	2 558.775	2 551.42	99.71
Austria	5 180.064	4 808.064	92.82
Bélgica	1307	1307	100.00
Bolivia	2.2	2.2	100.00
Brasil	20	20	100.00
Islas Vírgenes Británicas	1		0.00
Bulgaria	1052	1052	100.00
Canadá	608.375	185.015	30.41
Cabo Verde	0.028	0.028	100.00
Chile	637.3	73.3	11.50
China	33 318.87	23 684.92	71.09
Croacia	281.74	281.74	100.00
República Checa	1 215.04	1 215.04	100.00
Dinamarca	1.621	1.621	100.00
Guinea Ecuatorial	5		0.00
Islas Feroe	2.3		0.00
Finlandia	1.2		0.00
Francia	5 935.554	5 823.092	98.11
Guinea Francesa	1.6		0.00
Polinesia Francesa	1		0.00
Alemania	7 771.130	6 966.277	89.64
Grecia	1 338.8	699	52.21
Hong Kong	4		0.00
Hungría	0.5	0.5	100.00
India	7 013.29	5 072.29	72.32

Indonesia	1 040.4	0.4	0.04
Irán	1 040	1 040	100.00
Irlanda	299.68	296.86	99.06
Israel	425.05	0.05	0.01
Italia	7 732.517	7 083.217	91.60
Japón	28 861.626	25 468.326	88.24
Jordania	20		0.00
Kazajastán	25		0.00
Kenia	0.6		0.00
Corea del Sur	4 751.008	4 736.338	99.69
Lituania	900	900	100.00
Luxemburgo	1 096	1 096	100.00
Madagascar	0.015	0.015	100.00
Malasia	15		0.00
Maldivas	0.4		0.00
Martinica	0.12	0.12	100.00
Méjico	0.39		0.00
Marruecos	975.65	465	47.66
Holanda	15.34	3.59	23.40
Nueva Zelanda	0.008	0.008	100.00
Nigeria	1.1		0.00
Noruega	967.065	967	99.99
Filipinas	759	709	93.41
Polonia	1 744.8	1 744.8	100.00
Portugal	3 550.305	1 592.605	44.86
Catar	2.25	0.25	11.11
Rumanía	53.3	53.3	100.00
Rusia	2 228.925	1 248.9	56.03
Arabia Saudí	0.02		0.00
Serbia	614	614	100.00
Eslovaquia	1 017.16	1 017.16	100.00
Eslovenia	185.01	185	99.99
Sudáfrica	3 412.03	1 680.01	49.24
España	9 046.026	7 931.026	87.67
Suecia	8.075	8.075	100.00
Suiza	6 429.385	2 688.155	41.81
Taiwán	2 608.002	2 608.002	100.00
Tailandia	1 391	1 391	100.00
Ucrania	3 173	905	28.52
Emiratos Árabes Unidos	8	8	100.00
Reino Unido	3 585.161	3 240.656	90.39
Estados Unidos de América	29 738.147	21 378.442	71.89

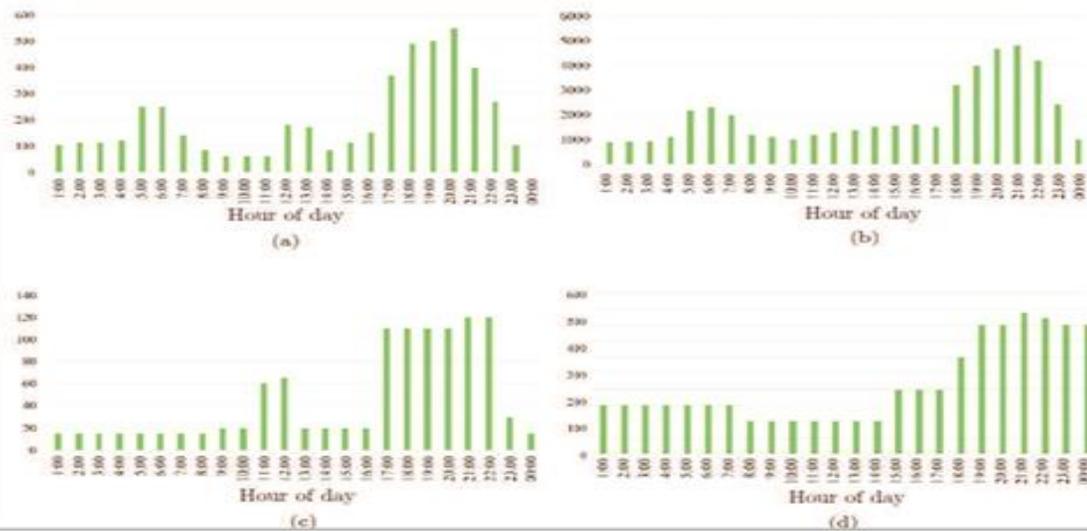
Anexo: 3.1 Consumo per capita de Angola



Country	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2016	2017
Angola	172,89	132,36	104,5	125,2	122,78	141,81	156,67	166,35	246,1	240,95	242,8	237,88	186,36	197,09	240,57	401,54	284,47

Anexo: 3.2 Perfiles de carga de comunidades rurales en varias regiones del mundo

Figure 5: Computer models for selected daily rural energy load profiles for various African countries (a) Homer model, rural Africa (Casillas & Kammen, 2012); (b) Botswana (Yumoto, 2011); (c) Sokoto, North-west Nigeria (Ohijeagbon & Ajayi, 2014); and (d) Akassa, Niger Delta (Kenneth & Tarilanyo, 2013).



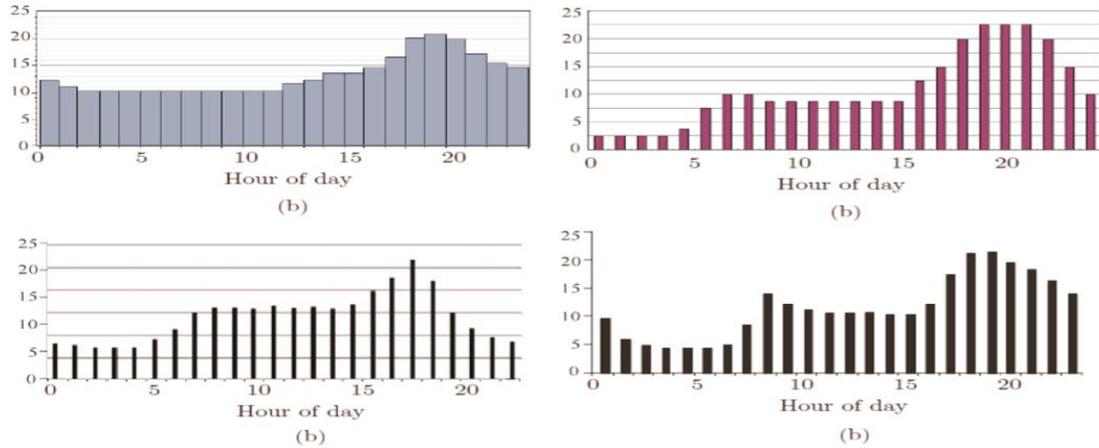


Figure 5: Computer models for selected daily rural energy load profiles for various African countries (a) Homer model, rural Africa (Casillas & Kammen, 2012); (b) Botswana (Yumoto, 2011); (c) Sokoto, North-west Nigeria (Ohijeagbon & Ajayi, 2014); and (d) Akassa, Niger Delta (Kenneth & Tarilanyo, 2013).

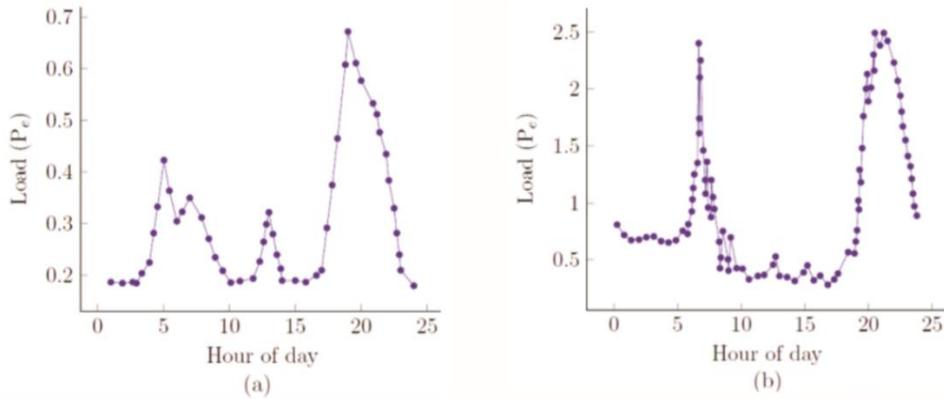
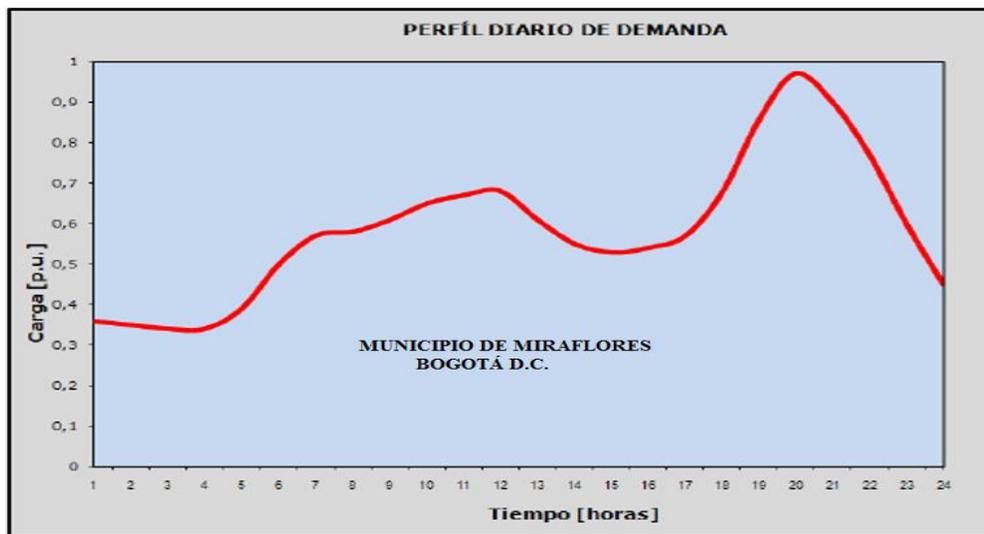
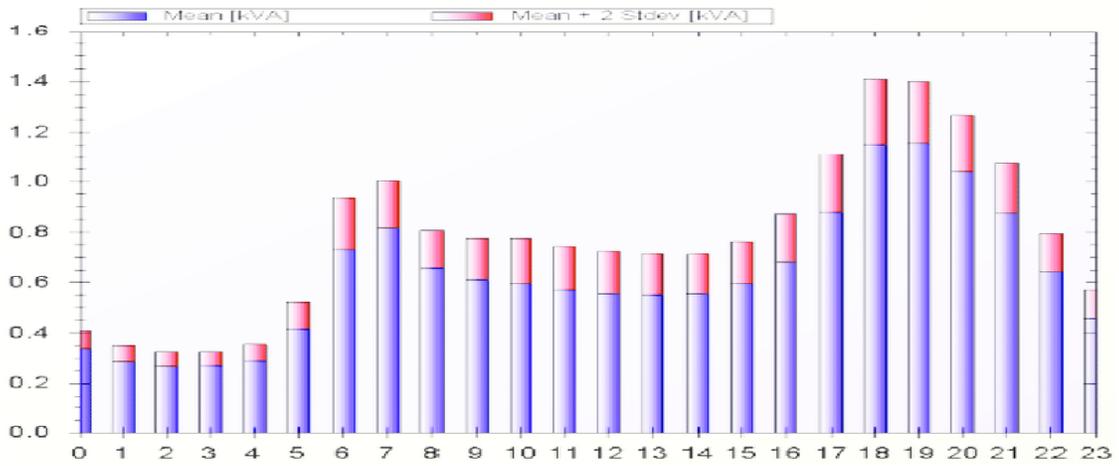
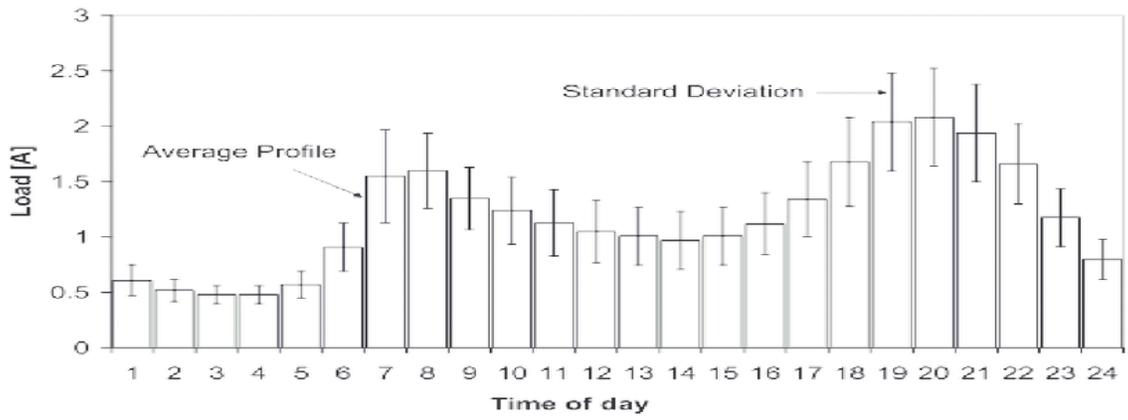
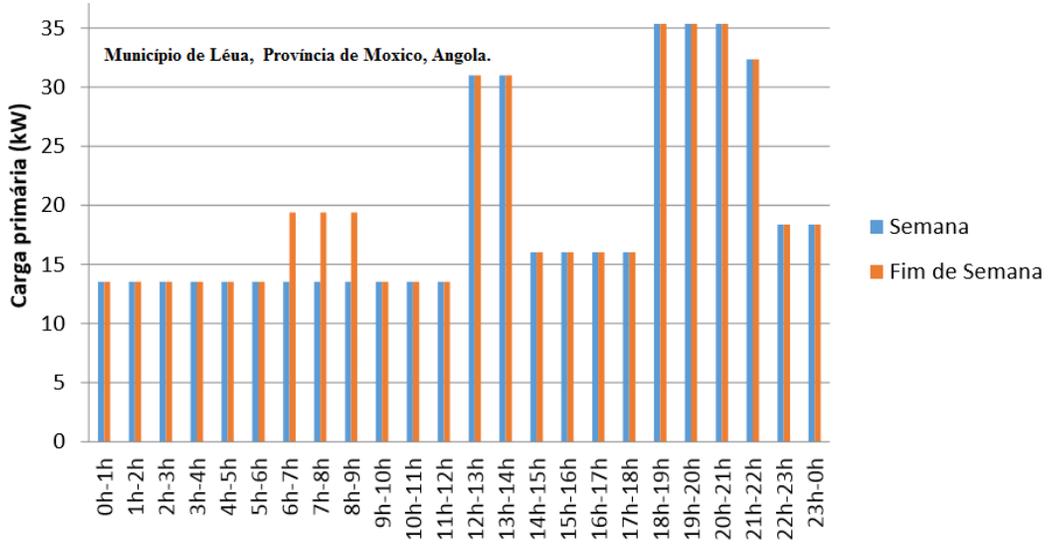


Figure 3: Average household load profiles, in kW, measured at rural villages at (a) Zimbabwe and (b) Uganda (Tinarwo, 2009; Sprei, 2002).





Anexos: 3.3 Projecto de electrificación de generación hídrica de los municipios de Bocoio y Balombo (Rede Nacional de Transporte de electricidade,RNT, 2019).

Nome da Subestação	Situação Actual	Sistema	Provincia	Rel. Transf. (kV)	Potência Instalada (MVA)	Ano Previsto para Funcionamento
▶ Cacolo	Planificada	Leste	Lunda Sul	220/110	60	2025 - 2030
▶ Muconda	Planificada	Leste	Lunda Sul	220/110	60	2025 - 2030
▶ Luau	Planificada	Leste	Moxico	220/110	60	2025 - 2030
▶ Malembo	Planificada	Cabinda	Cabinda	220/60	240	2025 - 2030
▶ Benguela Sul	Em Construção	Centro	Benguela	220/60	120	2017
▶ Catumbela	Planificada	Centro	Benguela	220/60	120	2019 - 2025
▶ Cubal	Planificada	Centro	Benguela	220/60	120	2019 - 2025
Bocoio	Planificada	Centro	Benguela	220/60	60	2019 - 2025
Macro Objectivo do Projecto						
Electrificação dos municípios de Bocoio e Balombo						
▶ Dombe Grande	Planificada	Centro	Benguela	220/60	60	2025 - 2030
▶ Bailundo	Planificada	Centro	Huambo	220/60	120	2019 - 2025

Linhas de Transmissão **Subestações**

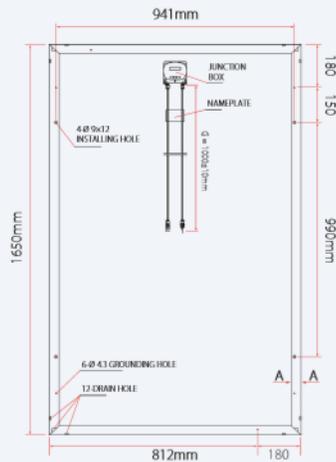
Mostrar 10 registos Procurar

Início da Linha - Fim da Linha	Nível de Tensão(kV)	Comprimento(Km)	Sistema de Operação	Ano Previsto para Funcionamento
Lubango - Namibe	220	162	Sul	2019 - 2025
Lucapa - Saurimo	220	157	Leste	2019 - 2025
Malanje - Xá-Muteba	220	261	Norte - Leste	2025 - 2030
Maquela do Zombo - M'Banza Congo	220	154	Norte	2025 - 2030
Matala - Jamba	220	115	Sul	2019 - 2025
Matala - Lubango	220	168	Sul	2019 - 2025
Muconda - Luau	220	115	Leste	2025 - 2030
N'Zeto - M'Banza Congo	220	255	Norte	2017
Namibe - Tômbwa	220	96,9	Sul	2019 - 2025
Nova Biopio - Balombo	220	141	Centro	2025 - 2030

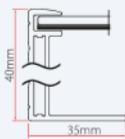
Anexo: 3.4 Características de módulo Policristalino TSM-250 PC/PA05

TSM-PC05 / TSM-PA05 THE UNIVERSAL SOLUTION

DIMENSIONS OF PV MODULE TSM-PC/PA05

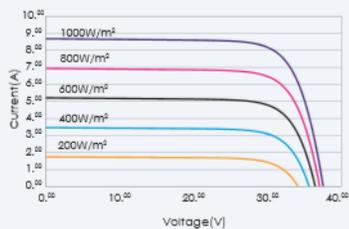


Back View



A-A

I-V CURVES OF PV MODULE TSM-245 PC/PA05



Average efficiency reduction of 4.5% at 200W/m² according to EN 60904-1.

ELECTRICAL DATA @ STC	TSM-235 PC/PA05	TSM-240 PC/PA05	TSM-245 PC/PA05	TSM-250 PC/PA05
Peak Power Watts-P _{MAX} (Wp)	235	240	245	250
Power Output Tolerance-P _{MAX} (%)	0/+3	0/+3	0/+3	0/+3
Maximum Power Voltage-V _{MPP} (V)	29.3	29.7	30.2	30.3
Maximum Power Current-I _{MPP} (A)	8.03	8.10	8.13	8.27
Open Circuit Voltage-V _{OC} (V)	37.2	37.3	37.5	37.6
Short Circuit Current-I _{SC} (A)	8.55	8.62	8.68	8.85
Module Efficiency η _m (%)	14.4	14.7	15.0	15.3

Values at Standard Test Conditions STC (Air Mass AM1.5, Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C). Power measurement tolerance: ±3%

ELECTRICAL DATA @ NOCT	TSM-235 PC/PA05	TSM-240 PC/PA05	TSM-245 PC/PA05	TSM-250 PC/PA05
Maximum Power-P _{MAX} (Wp)	171	174	178	181
Maximum Power Voltage-V _{MPP} (V)	26.4	26.6	26.8	27.0
Maximum Power Current-I _{MPP} (A)	6.48	6.55	6.64	6.70
Open Circuit Voltage (V)-V _{OC} (V)	34.0	34.1	34.2	34.3
Short Circuit Current (A)-I _{SC} (A)	6.97	7.04	7.10	7.25

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s. Power measurement tolerance: ±3%

MECHANICAL DATA

Solar cells	Multicrystalline 156 × 156mm (6 inches)
Cell orientation	60 cells (6 × 10)
Module dimensions	1650 × 992 × 40mm (64.95 × 39.05 × 1.57 inches)
Weight	19.5kg (43.0 lb)
Glass	High transparency solar glass 3.2mm (0.13 inches)
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP 65 rated
Cables	Photovoltaic Technology cable 4.0mm ² (0.006 inches ²), 1000mm (39.4 inches)
Connector	MC4 

TEMPERATURE RATINGS

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P _{MAX}	-0.43%/°C
Temperature Coefficient of V _{OC}	-0.32%/°C
Temperature Coefficient of I _{SC}	0.047%/°C

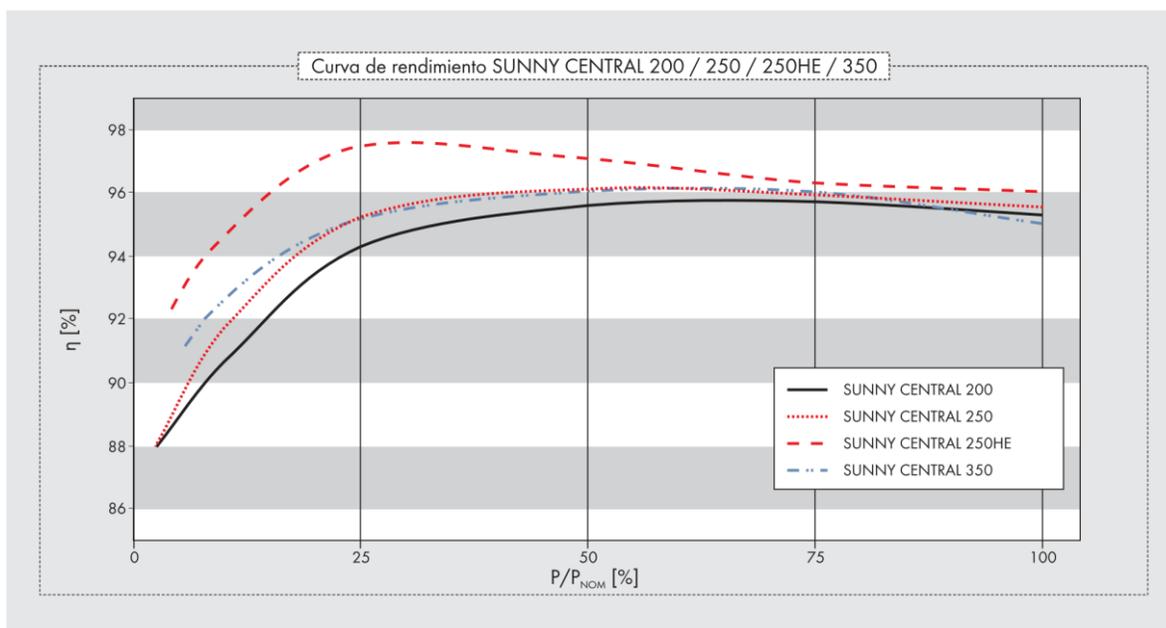
MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1000V DC(IEC)/600V DC(UL)
Max Series Fuse Rating	15A

WARRANTY

Anexos: 3.5 Inversor Sunny central 200 / 250 / 250HE / 350





Datos técnicos	Sunny Central 200	Sunny Central 250	Sunny Central 250HE	Sunny Central 350
Valores de entrada				
Potencia nominal de CC	210 kW	262 kW	261 kW	369 kW
Potencia máxima de CC	230 kWp ⁽¹⁾	290 kWp ⁽¹⁾	285 kWp ⁽¹⁾	405 kWp ⁽¹⁾
Rango de tensión MPP	450 V – 820 V ⁽³⁾			
Tensión máx. de CC	880 V	880 V	880 V	880 V
Corriente <u>continua</u> máx.	472 A	591 A	591 A	800 A
No. de entradas de CC	5	8	8	12
Parámetros de salida				
Potencia nominal de CA	200 kW	250 kW	250 kW	350 kW
Potencia máx. de CA	200 kW	250 kW	250 kW	350 kW
Tensión nominal de CA	400 V	400 V	270 V	400 V
Corriente nominal de CA	289 A	361 A	535 A	505 A
Frecuencia de red de CA 50 Hz	●	●	●	●
Frecuencia de red de CA 60 Hz	●	●	●	●
Máx. <u>cos φ</u>	> 0,98	> 0,98	> 0,98	> 0,98
<u>Coefficiente</u> de distorsión máx.	< 3 %	< 3 %	< 3 %	< 3 %
Consumo de potencia				
Autoconsumo en funcionamiento	< 1000 W	< 1500 W	< 1500 W	< 2500 W
Consumo en stand-by	< 70 W	< 80 W	< 80 W	< 70 W
Tensión auxiliar externa	230 V, 50/60Hz	400 V, 50/60 Hz	400 V, 50/60 Hz	400 V, 50/60 Hz
Fusible de entrada exterior para alimentación auxiliar	B 16 A, 1 polos	B 16 A, 3 polos	B 16 A, 3 polos	B 16 A, 3 polos
Dimensiones y peso				
Altura	2120 mm ⁽⁴⁾	2120 mm ⁽⁴⁾	2120 mm ⁽⁴⁾	2120 mm ⁽⁴⁾
Ancho	2000 mm	2400 mm	2400 mm	2800 mm
Profundidad	850 mm	850 mm	850 mm	850 mm
Peso	1600 kg	2070 kg	1170 kg	2800 kg
<u>Coefficiente</u> de rendimiento⁽²⁾				
Rendimiento máx.	95,7 %	96,1 %	97,5 %	96,0 %
Rendimiento europeo	94,5 %	95,2 %	96,7 %	95,2 %
Clase de protección y condiciones ambientales				
Clase de protección (según CEI 60529)	IP20	IP20	IP20	IP20
Rango de temperatura de servicio	-20 °C ... +40 °C			
Humedad <u>rel.</u> del aire	15 % ... 95 %	15 % ... 95 %	15 % ... 95 %	15 % ... 95 %
Consumo de aire fresco	3300 m ³ /h	4200 m ³ /h	3500 m ³ /h	6500 m ³ /h

Anexos: 3.6 características técnicas

ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERADORES DE 198 – 625 kW

ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERADORES						
	Standby(kVA)	198	248	315	600	825
	Model	AQL198	AQL248	AQL315	AQL600	AQL825
standby power	kVA/kW	198/158	248/198	315/252	600/481	825/660
prime power	kVA/kW	180/144	225/180	286/229	546/437	750/600
frequency	Hz	60	60	60	60	60
rated voltage	V	480	480	480	480	480
brand	—	Cummins brand-new gas engine				
model	—	M-NTAA855	M-NTAA855	M-KTAA19	M-KTAA38	M-KTAA50
displacement	L	14	14	19	37,8	50,3
speed	RPM	1800	1800	1800	1800	1800
compression ratio	—	10:1	10:1	10:1	10:1	10:1
cooling method	—	water cooled	water cooled	water cooled	water cooled	water cooled
brand alternator	—	Leroy Somer	Leroy Somer	Leroy Somer	Leroy Somer	Leroy Somer
model	—	LSA 44.2 M95	LSA 46.2 M5	LSA 46.2 L6	LSA 47.2 S5	LSA 49.1 S4A
phase	—	3 phases, 4 wires	3 phases, 4 wires	3 phases, 4 wires	3 phases, 4 wires	3 phases, 4 wires
controller type	—	DeepSea DSE7320	DeepSea DSE7320	DeepSea DSE7320	DeepSea DSE7320	DeepSea DSE7320
display	—	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD
fuel	—	biogas	biogas	biogas	biogas	biogas
gas inlet pressure	kPa	2-6kPa	2-6kPa	2-6kPa	100-300kPa or 2-3 bar	
dimension (open type)	mm*mm*mm	2900*1200*1850	2900*1200*1850	3240*1300*1920	4600*2060*2380	4800*2200*2400
net weight (open type)	kg	2200	2200	4630	7500	9800
biogas consumption	m ³ /kW.h	0,58	0,55	0,53	0,53	0,53

AQUALIMPIA
ENGINEERING

GENERADORES CON GABINETE



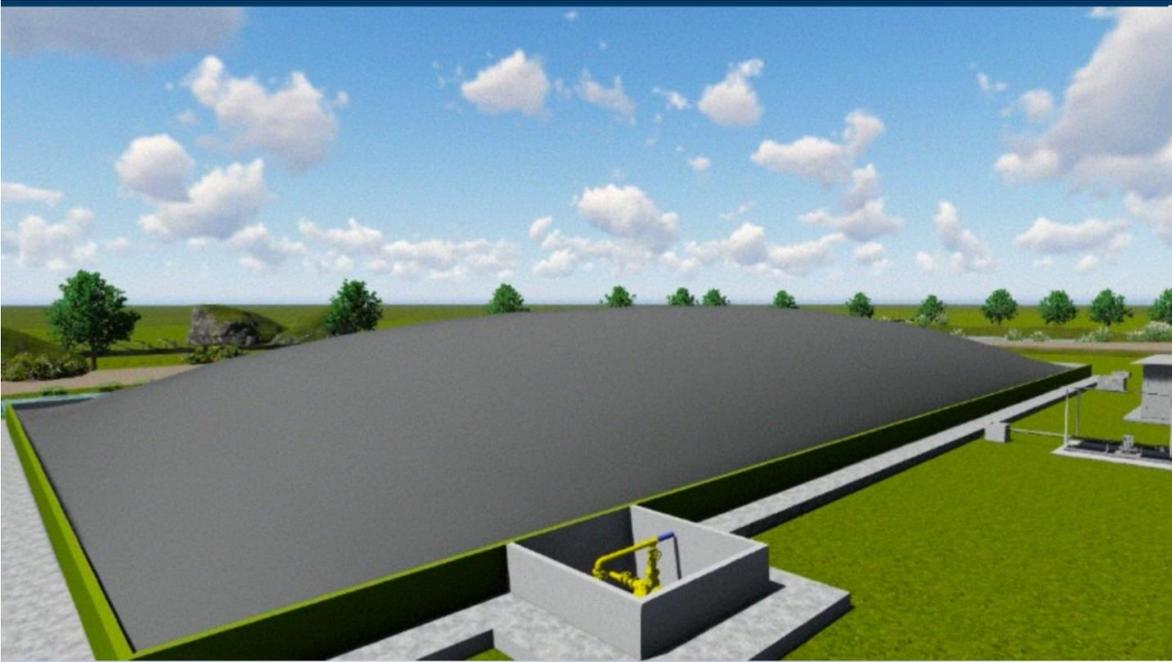
2013-2014

AquaLimpia Engineering
UELZEN – ALEMANIA

www.aqualimpia.de
aqua@aqualimpia.com

5

Biodigestor tipo laguna



Anexos: 3.7 Almacenamiento en gran escala con baterías de ion-litio



Consejos para un uso responsable de la energía eléctrica



Acondicionadores de aire:

En cuanto a la tecnología para la climatización de los ambientes se recomienda:



capignesi/efectivas

- Dar preferencia a los equipos que poseen etiquetas de eficiencia energética clase "A" y que posean recursos de programación, como timer.
- Elegir convenientemente el aparato de acuerdo a las dimensiones del ambiente donde será utilizado.
- Proteger la parte externa del aparato de la incidencia del sol, sin bloquear las rejillas de ventilación.
- Regular adecuadamente el termostato, manteniendo la temperatura de 24°C en verano y 20°C en invierno. En verano, cada grado que se baja aumenta el consumo un 7%.
- Mantenga limpios los filtros del aparato para no perjudicar la circulación de aire; es conveniente hacer la limpieza al menos dos veces al año. Un filtro sucio puede reducir o aumentar el consumo del equipo hasta un 10%.
- Es preferible usar ventiladores en lugar de acondicionadores de aire, ya que consumen menos energía.

Fuente IRAM.

Para mayor información sobre la etiqueta, consultar:
<http://www.eficienciaenergetica.org.ar/>

Energía		Acondicionador de aire
Marca comercial:		LOGO
Modelo tipo compacto		123456789101112
Más eficiente	A B C D E F G	B
Menos eficiente		
Consumo de energía anual, kWh en modo refrigeración (El consumo efectivo dependerá del clima y del uso del aparato)		X, Y
Capacidad de refrigeración kW		X, Y
Índice de eficiencia energética Carga completa (cuanto mayor mejor)		X, Y
Tipo	Sólo refrigeración Refrigeración/calefacción	←
Capacidad de calefacción kW		X, Y
Clase de eficiencia energética en modo calefacción	A más eficiente G menos eficiente	A B C D E F G
Ruido dB (A) en 1 m		XY
Ficha de información detallada en los folletos del producto		
IRAM 62406		

Comportamiento en la climatización de los ambientes

- Mantener puertas y ventanas cerradas cuando el equipo esté funcionando, evitando la entrada de aire externo al área climatizada.
- Los ambientes cuyas ventanas están expuestas a la luz solar requieren más energía para refrigerarse. Colocá cortinas de colores claros o de enrollar para evitar que la habitación se caliente durante el día día.
- La noche, cuando la temperatura desciende, abrí puertas y ventanas y dejá que el aire corra por tu casa para enfriarla.
- Desconectar el equipo cuando el ambiente se encuentre desocupado.
- En un local de trabajo, siempre que sea posible, encender el acondicionador de aire una hora después del inicio de la jornada de trabajo y apagarlo una hora antes de su término.



Fabio Teller

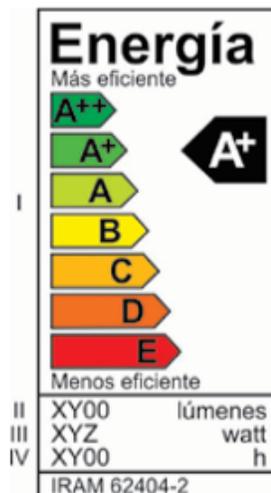
Iluminación

En cuanto a la tecnología de la iluminación se aconseja tener en cuenta:



- Elegir el tipo de lámparas adecuado para cada aplicación.
- Fijar el nivel de iluminación necesario para las actividades y necesidades que se desarrollan efectivamente en cada espacio.
- Utilizar lámparas LED, con etiqueta de eficiencia energética.
- Las lámparas de LED son una buena opción, consumen menos energía, pueden durar siete veces más que las compactas y no son afectadas por el encendido repetido.
- Utilizar luminarias (lugar donde se aloja la lámpara y distribuye la luz) con buena reflectancia, o espejadas.
- Dividir los circuitos de iluminación mediante un número de interruptores adecuado para iluminar solo el área que se necesita.
- Usar colores claros en las paredes, muros y techos. Reflejan mejor la luz, disminuyendo la necesidad de iluminación artificial.
- Utilizar sensores fotoeléctricos y sensores de presencia en lugares con baja concurrencia (pasillos, escaleras, garages, vestuarios).
- Usar iluminación dirigida para lectura y trabajos manuales.
- Utilizar balastos electrónicos con etiqueta de eficiencia energética, porque permiten ahorrar energía y corrigen el factor de potencia, así como incrementan la vida útil de los fluorescentes.

Fuente IRAM.
Para mayor información
sobre la etiqueta,
consultar:
<http://www.eficienciaenergetica.ora.ar/>



Comportamiento en el uso de la iluminación:

- Apagar las luces que no se necesiten.
- Mantener las lámparas y las luminarias limpias.
- Evaluar la posibilidad de utilizar luz natural, abrir persianas y cortinas, mantener las ventanas limpias.

Heladera / freezer

En cuanto a la tecnología de heladeras y freezers se aconseja tener en cuenta:



- Al comprar una heladera, adquirir las que tengan etiqueta de eficiencia energética marcadas con "A".
- Elegir heladeras con capacidad adecuada a las necesidades de la familia, cuanto más grande es el equipo, mayor es el consumo de energía.
- Elegir el equipo adecuado al clima de la región. La "clase de clima" para la cual fue fabricada la heladera figura en la etiqueta de eficiencia energética. Este dato indica el rango de temperatura ambiente recomendado dentro del cual el funcionamiento es óptimo.
- Instalar el equipo en lugar bien ventilado y evitar la proximidad de cocinas, calentadores o áreas expuestas al sol.
- Dejar un espacio mínimo de 15 cm a los lados, encima y en el fondo del aparato, en el caso de estar instalado entre armarios o paredes.
- Evitar que la rejilla trasera apoye en la pared.
- No usar la parte de atrás del aparato para secar ropa o repasadores.



- Verificar el estado del burlete colocando una hoja de papel al cerrar la puerta. Si la hoja cae, es momento de cambiar el burlete.
- Ajustar las bisagras de la puerta de la heladera o freezer cuando sea necesario.
- Conservar limpias las serpentinas que se encuentran en la parte trasera del equipo.
- Ajustar las patas de la heladera o el freezer para evitar que queden inclinados, y así facilitar un mejor cierre de la puerta.

Comportamiento en el uso de heladeras y freezers:

- Evitar abrir la puerta sin necesidad o por tiempo prolongado. Cuando se abre la puerta de la heladera, el aire frío sale y el aire del ambiente entra a mayor temperatura, esto aumenta el consumo de energía.
- Retirar todos los alimentos que se necesiten de una sola vez.
- Descongelar periódicamente y no permitir la formación de capas de hielo de más de 1 cm de espesor.
- Acomodar los alimentos de forma de perder menos tiempo para encontrarlos y dejar espacios vacíos para la circulación de aire frío.
- Evitar guardar alimentos y líquidos todavía calientes.
- Evitar la colocación de vidrios o plásticos sobre los estantes, eso dificulta la circulación interna de aire frío.
- Al ausentarse de la casa por tiempo prolongado, vaciar el refrigerador y desconectarlo.

Agua y energía

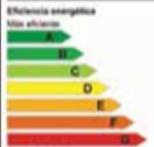
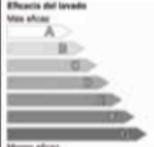
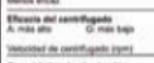
La cantidad de energía que se usa para calentar el agua para lavar los platos o la ropa y bañarse representa una fuente de consumo de energía.

Sin embargo, todo consumo de agua implica un gasto energético: su depuración o potabilización, su bombeo y transporte y el posterior tratamiento de los efluentes también demandan energía. Por esto, también desde el punto de vista energético es importante cuidar el agua y no derrocharla.

Actualmente, se comercializan en forma creciente dispositivos economizadores de agua. Estos elementos se clasifican en tres grupos de acuerdo con el lugar en el que se instalarán: ducha, griferías o depósitos de inodoros. Además, el ahorro de agua caliente se traduce directamente en un menor consumo de gas natural.

Lavarropas

- Al comprar un lavarropas, elegir los que tengan etiqueta de eficiencia energética y eficacia de lavado marcadas con "A".
- Comprar lavarropas que posean ciclos de lavado económico y cortos, además de la posibilidad de optar por diferentes temperaturas para ahorrar energía, y con altas velocidades de centrifugado.
- Lavar siempre a plena carga, en ciclos económicos y a baja temperatura o con agua fría.
- Mantener el filtro limpio.

Energía		Lavarropas
MARCA COMERCIAL:	ABC	
MODELO:	ABC 123	
ORIGEN:	ABC	
Eficiencia energética Más eficiente		B
Consumo de energía Eficiencia		X.YZ
Eficiencia del lavado Más eficaz		B
Eficiencia del centrifugado A: más alta G: más baja		A: C Medio
Capacidad en kg de algodón		X.Z
Consumo de agua en litros		XY
Ruido eficiente 1 200	Lavado	XY
	Centrifugado	XZ

Consejos para un uso responsable de gas

Termotanque

En cuanto a la tecnología de los termotanques se recomienda:

- A la hora de comprar, elegir un equipo con la capacidad adecuada al uso que se le va a dar, evitando el sobredimensionamiento.
- Dar preferencia a modelos con mejor aislamiento del tanque y con dispositivo de control de temperatura.

Anexos: 3.7 Características técnicas del generador cummins

GENERADORES TIRREAU

FABRICADOS POR YANAN

Yanan



www.tirreau.cl

CE TÜV CCS ISO9001 ISO14000 ISO18000

**GRUPO ELECTRÓGENO
FICHA TÉCNICA**



**Grupo electrógeno
Cummins
Modelo: TYN550C**



*Foto de referencia sólo para propósitos ilustrativos

I. GENERAL

Potencia Prime	kW/kVA	400	500
Potencia Standby	kW/kVA	440	550
Frecuencia	Hz/rpm	50	1500
Voltaje	V	380	220
Corriente	A	760	
Conexión	/	3P 4W/Y	
Factor de Potencia	/	0.8	
Dimensión de abierto (LxWxH)	mm	3500x1345x2110	
Peso de abierto	kg	4300	
Dimensión de insonorizado(LxWxH)	mm	4800x2100x2280	
Peso de insonorizado	kg	5500	
Capacidad de estanque de combustible:(L)	Tipo abierto	650	Cabinado 880

■ Voltajes disponibles: 400/230V, 480/277V, 380/220V, 440/254V, 416/240V, 220/127V, 208/120V

■ Requerimiento basado en ISA3046, altitud 100m(328ft), presión barométrica 100kPa(29.53inHg), temperatura 25°C (77°F), humedad 30%



CE TUV CCS ISO9001 ISO14000 ISO18000 PA

IV. MOTOR

Modelo	QSX15-G8	Potencia	500	kW
Aspiración	Turbocharged and Charge Air Cooled	Desplazamiento	15	L
Tipo	In-line	Bore×Stroke	137 x 169	mm
No de cilindro	6	N de cilindros Relación de compresión	17:1	
Governor	ECM	Revolución	1500	RPM
Bomba de cebado	N/A			

■ Sistema Combustible

Consumo en prime	103	L/h	Consumo en Standby	123	L/h en 110% de la carga
------------------	-----	-----	--------------------	-----	-------------------------

Combustible #	ASYM D975 No.2-D or BS2869 1998 Class A1, A2	Sistema inyección	Cummins HPI-TP	Inyección a alta presión
---------------	--	-------------------	----------------	--------------------------

■ Sistema lubricación

Capacidad	91	L		
Lub #	API CF-4 15W40	Temp.máxima	121	°C

■ Sistema Refrigeración

Capacidad	66	L	Temp.max.tanque	104	°C
Termostato	82-93	°C	Tipo de accionamiento	Shaft drive	
Flujo aire	708	m3/min	Potencia del ventilador	16	kW

■ Sistema de entrada de aire

Flujo de combustión	32.4/36.3	m3/min	Restricción max.	3.7	kPa
---------------------	-----------	--------	------------------	-----	-----

■ Sistema escape

Flujo gas	75.3/82.2	m3/min	Contrapresión max.	10	kPa
Temp.gas	≤515	°C	Med tubo escape	φ150	mm

■ Sistema arranque

Modelo	DC24V Electric start	Batería	2x200	Ah
--------	----------------------	---------	-------	----

Anexos: 3.9 costo de los componentes principales del sistema de generación distribuida

Tabla 3.5 cantidades y costos del sistema solar fotovoltaico. Fuente: elaboración propia			
Ítem	cantidad	Valor unitario \$	Valor total
Módulos solares	2 088	\$ 306, 936	\$ 640 882,36
Inversores	10	\$ 22 504,281	\$ 225 042,81
Caja de combinación de Sting	10	\$ 3 933,69	\$ 39 336,9
Interruptores	4	\$ 7 615,18	\$ 30 460,72
Transferencia en media tensión	1	\$ 138 240	\$ 138 240
Transformador 3 MW	1	\$ 522 240	\$ 522 240
Sistema de protección	1	\$ 224 256	\$ 224 256
Baterías	9	\$ 152 659,57	\$ 152 659,57
Estructuras metálicas y soportes	1 044	\$ 460,8	\$ 481 075,2
Cableado	1	\$ 5 068 800	\$ 5 068 800
Conectores, terminales y accesorios	1	\$ 153 600	\$ 153 600
Biodigestores	1	\$ 130 400	\$ 130 400
Generador	1	\$ 815 000	\$ 815 000
Medidores de ph	1	\$ 4 300	\$ 4 300
Caudalimetro	1	\$ 3 400	\$ 3 400
Filtro de H2	1	\$ 4 300	\$ 4 300
Filtro condensado	1	\$ 3 000	\$ 3 000
Tren de calibración	1	\$ 40 000	\$ 40 000
Válvulas de seguridad	1	\$ 220	\$ 220
Bomba centrífuga	4	\$ 9 894	\$ 39 576
Agitador	3	\$ 89 984	\$ 269 952
Sub total			\$ 8,986,741.56
Imprevistos 3%			\$ 269602.2468
Transporte 1,5%			\$ 134801.1234
Total			9,391,144.93

Tabla 3.5 cantidades y costos del sistema convencional. Fuente: elaboración propia

Ítem	cantidad	Valor unitario \$	Valor total
Generador	100	\$ 56 916,91	\$ 5 691 691

Análisis comparativo de la inversión inicial entre el sistema propuesto y un sistema convencional

