

OPTIMIZACIÓN ECONÓMICA DE MICRORREDES ENERGÉTICAS EN ZONAS RESIDENCIALES DE ESTRATOS 1 Y 2

Camilo Andrés Medrano Patrón¹, Humberto Jaime Doria Doria², Samuel Iván Bonilla Gracia³, Jorge Mario Mendoza Fandiño⁴, Miguel Emigdio Doria Oviedo⁵, Jesús David Rhenals Julio⁶

1.ICT, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, País: Colombia

Email: cmedranopatron48@correo.unicordoba.edu.co

2.ICT, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, País: Colombia

Email: hdoriadoria07@correo.unicordoba.edu.co

3.ICT, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, País: Colombia

Email: sbonillagracia04@correo.unicordoba.edu.co

4.ICT, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, País: Colombia

Email: Jorge.mendoza@correo.unicordoba.edu.co

5. GIITA, Departamento de Ingeniería Electromecánica, Universidad del Sinú, País: Colombia.

Email: correo electrónico: migueledoria@unisnu.edu.co

6.ICT, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, País: Colombia

Email: jesusrhenalsj@correo.unicordoba.edu.co

Resumen

La implementación de energías renovables cada vez está más presente en las redes eléctricas con el fin de obtener una mejor sostenibilidad, reducción de costos, combatir con el cambio climático y ayudar al medio ambiente. Se plantea la estimación de una microrred energética para zonas residenciales de estrato 1 y 2, donde se calcularán por medio de un programa de simulación conocido como System Advisor Model (SAM) los parámetros necesarios para el estudio del sistema integrado por energía solar y biomasa, y así a través del sistema de almacenamiento poder contrarrestar las deficiencias que actualmente presenta la red de energía eléctrica y lograr una disminución de costos. Se obtuvieron resultados como la generación de energía del sistema fotovoltaico y de biomasa, lo que permitió corroborar que el sistema suple la necesidad de esta a través de las energías renovables por encima de lo necesario para la microrred, lo cual favorece en el proceso de carga del sistema de almacenamiento.

Palabras clave: Microrred, energía eléctrica, energías renovables.

Abstract

The implementation of renewable energies is increasingly present in electrical grids in order to obtain better sustainability, reduce costs, combat climate change and help the environment. The estimation of an energy microgrid for residential areas of stratum 1 and 2 is proposed, where the necessary parameters for the study of the system integrated by solar energy and biomass will be calculated through a simulation program known as System Advisor Model (SAM), and thus through the storage system to counteract the deficiencies that currently presents the power grid and achieve a decrease in costs. Results were obtained as the generation of energy from the photovoltaic system and biomass, which allowed to corroborate that the system supplies the need for this through renewable energies above what is necessary for the microgrid, which favors in the process of loading the storage system.

Keywords: Microgrid, electric power, renewable energies.

1. Introducción

Nuestra sociedad depende mucho de la electricidad, por lo que con el crecimiento de la población y el avance de la tecnología el consumo de esta aumenta de manera exponencial. Para suplir esta demanda existen dos tipos de fuentes: convencionales y fuentes de energía no convencionales, siendo la primera muy dañina para el planeta. Teniendo esto en cuenta necesitamos encontrar otro método de producción de energía el cual no agote los recursos y es ahí es donde las fuentes de energía no convencionales brindan un acceso a la generación de energía sin el agotamiento de estos. [1]. Además, la problemática que nos genera el cambio climático a nivel mundial no solo afecta a las especies en individual, también afecta sus hábitats lo que trae como consecuencia la alteración de los bienes y servicios que brinda la naturaleza a nuestra sociedad. [2].

Teniendo lo anterior en cuenta se ha evidenciado un crecimiento significativo en las políticas para respaldar las transmisiones hacia las energías renovables. Según la Base de Datos de Políticas de la Agencia Internacional de Energía, 126 países tienen políticas activas de energía renovable que incluyen una amplia variedad de tecnologías y fuentes. Estas políticas por lo general brindan mucho apoyo financiero. [3]. Para superar este problema ambiental mediante la recolección de energía distribuida siendo la energía fotovoltaica y eólica como las más conocidas al desempeñar el papel de generar energía limpia, una microrred se define como una red de distribución de baja tensión en la los recursos energéticos distribuidos. Esta tecnología ha destacado en tres ítems en específico que son la confiabilidad, sostenibilidad y la economía [4]. Debido a la reestructuración energética se está siendo menos complejo la integración de fuentes de energía renovable y verdes, las cuales están siendo movidas por la tecnología en una dirección la cual brinda la posibilidad al usuario de ser un productor de energía y así contrarrestar los inconvenientes del servicio que es adquirido mediante las redes de energía convencional [5].

Es importante aclarar la diferencia entre la red eléctrica convencional y una microrred basada en energías renovables ya que principalmente la red eléctrica convencional está diseñada para el flujo unidireccional de la electricidad, es decir cuando la electricidad fluye en una sola dirección desde la fuente de energía, hasta los consumidores, en cambio, una microrred basada en energías renovables es un caso particular de un concepto general, llamado red inteligente, el cual permite una comunicación y acción en ambas direcciones entre la empresa de servicios públicos y sus clientes, lo que permite que los consumidores de energía monitoreen y ajusten su demanda de electricidad mediante el uso de medidores inteligentes.

Esto significa que los clientes pueden interactuar con sus proveedores de energía de una manera más eficiente y efectiva, lo que a su vez puede ayudar a promover el uso de energías renovables y una gestión más inteligente y sostenible de la demanda de energía [6].

Existe un crecimiento exponencial en la generación de energía renovable con el fin de minimizar el calentamiento global y la contaminación en todo el planeta. Por lo que se necesita generar energía no convencional que brinde confianza a la hora de su distribución y asequibilidad. Las microrredes cuentan con sistemas donde se generan energías renovables y no renovables, por ejemplo, el carbón, la biomasa, energía fotovoltaica, eólica, entre muchas más [7]. Además, las microrredes surgen con el fin de poder facilitar estas necesidades, lo cual lleva a una mejora en la confiabilidad por medio del abastecimiento propio a través del suministro obtenido de las energías renovables y su capacidad de poder ser implementada en zonas donde no se tiene acceso a energías convencionales. [8]

Adicionalmente en las zonas residenciales de estrato 1 y 2 se le ha dado una gran importancia a la optimización económica de microrredes debido al restringido acceso de la energía eléctrica convencional y sus altos costos, lo que nos permite trabajar en una solución la cual se basa en suplir dichas necesidades energéticas del consumidor por medio de fuentes renovables de energía y una optimización de los procesos de transporte y distribución de esta misma, usando para este caso fuentes como la energía fotovoltaica y la energía generada a partir de biomasa.

Obtener estimaciones estadísticamente sólidas de las probabilidades de excedencia de generación de energía, se requieren muchos años de datos del recurso, así como modelos de rendimiento del sistema suficientemente detallados. El System Advisor Model (SAM) es una aplicación de software gratuita producida por el National Renewable Energy Laboratory que realiza un riguroso modelado del rendimiento del sistema de plantas de energía solar y calcula flujos de efectivo financieros detallados. Este manual es una guía para analizar la economía de tecnologías y proyectos de eficiencia energética y energías renovables. Su objetivo es (1) ayudar a los analistas a determinar el enfoque o tipo de análisis apropiado y el nivel de detalle adecuado, y (2) asistir a los analistas de energía renovable en completar análisis consistentes utilizando supuestos y bases estándar, cuando corresponda. Se incluyen técnicas analíticas que comúnmente se requieren para el análisis económico de tecnologías y proyectos de energía renovable.

A partir de la optimización económica de las microrredes energéticas se busca aumentar la eficiencia

en las distintas partes que conforman la generación de la energía, para así lograr minimizar los costos que generan dichos procesos como lo son el diseño, infraestructura, demanda e integración. Por lo que a través de este estudio se espera la facilitación teórica a la hora de implementar microrredes energéticas optimizadas en zonas residenciales de estrato 1 y 2.

Debido a los distintos beneficios que trae consigo la implementación de redes de generación de energía renovable se ha evidenciado un notable cambio en los ámbitos sociales y medioambientales, gracias a esto se ha optado por la utilización de estrategias de optimización e inclusión de diferentes sistemas de generación de energía y almacenamiento. Es por esto que se utiliza una de las principales fuentes de energía renovable como lo es la Biomasa.

Sabiendo esto, lo que buscamos a través de este estudio basado en la optimización económica de microrredes energéticas en zonas residenciales de estrato 1 y 2 tomando como fuentes de energía renovables la energía solar y la biomasa, es desarrollar un modelo en el cual los distintos sistemas ya mencionados sean los pilares a optimizar con el fin de lograr un equilibrio entre la reducción de gastos y las necesidades energéticas existentes al ser suplidas con energías renovables.

Teniendo esto como base, se buscará suplir la necesidad de energía de la microrred a través de energía renovable, con el fin de obtener la mayor generación posible para así reducir al mínimo la necesidad de extraer energía eléctrica de la red convencional.

2. Materiales y métodos.

Con ayuda del programa SAM se realizó el modelamiento de la microrred que constará de tres elementos principales, los cuales que son: un sistema fotovoltaico, un sistema de baterías y una planta de biomasa. Se plantea la implementación de una microrred autónoma en áreas residenciales de bajos ingresos, combinando fuentes renovables (solar y biomasa) y sistemas de almacenamiento. El software SAM fue usado para modelar y evaluar el desempeño energético del sistema, considerando factores como la irradiación solar, la disponibilidad de biomasa y los perfiles de carga. El objetivo principal es determinar la configuración óptima de la microrred que permita garantizar la continuidad del suministro eléctrico y reducir los costos operativos.

Este tipo de fuentes de energías son seleccionadas debido a que tienen un gran potencial de obtención en la ubicación donde se va estudiar la microrred. Todo esto son factores tenidos en cuenta para suplir la demanda de nuestra microrred la cual consta con un número de sesenta viviendas de estrato 1 y 2 de la

ciudad de Montería. A continuación, detallaremos los sistemas que se usaran para implementar la microrred.

2.1. Sistema fotovoltaico.

El modelo de energía que utiliza el software system advisor model (SAM) consta de tres módulos principales:

Location and resource: requiere datos horarios durante un año para dos componentes de irradiación solar (directa y difusa), temperatura ambiente en seco y velocidad del viento a 10 metros sobre el suelo. Cada hora debe tener una marca de tiempo con el año, mes, día y hora correspondientes a la línea de datos para que la posición del sol pueda calcularse con precisión. Para esto SAM nos facilita el NSRDB una base de datos de miles de archivos meteorológicos que puedes descargar y utilizar para tu biblioteca de recursos solares, los datos de búsqueda que nos pide SAM son la latitud y la longitud en grados decimales para esto usamos Google Earth Pro y con esta información el programa estima los demás datos.

Tabla 1. Ubicación y recurso

Datos meteorológicos			
Latitud	8.73°	Fuentes de datos	NSRDB
Longitud	-75.9°	Horizontal global	5.15 kwh/m ² /dia
Zona horaria	GTM-5	Directo normal	3.81 kwh/m ² /dia
Elevación	29 m	Difusión horizontal	2.51 kwh/m ² /dia
Paso del tiempo	60 min	Temperatura media	28.4 °c
Ubicación	1182518	V. media del viento	0.5 m/s

Fuente: elaboración propia.

Con esto proseguimos a system design dado que en este proyecto decidimos implementar paneles solares en los techos de las viviendas, aunque nuestro principal limitante es el área de estos, por lo que se decidió que el área de cada panel seria de 21 m² y así logramos obtener como resultado que con 20 paneles que instalemos nos daría un área total del sistema de 421 m² aproximadamente y nuestro ángulo de inclinación en dichas instalaciones es de 10° con respecto al plano horizontal, debido a que este ángulo es el que más se ajusta a los paneles solares para maximizar la captación de energía solar en nuestro país.

Tabla 2. Diseño de sistema

Parámetros del sistema			
Capacidad de la placa	80 kwdc	Tipo de matriz	Techo fijo, montar
Tipo de modulo	estándar	Inclinación	10°
Relación cc a ca	1.15	Azimut	180°
Tamaño nominal del inversor	69.57	Relación de cobertura del suelo	0.3

Efectividad del inversor	96%	Capacidad de la batería	54.9 kw/hac
Área total estimada del modulo	421.053 m	Química de la batería	Litio Ion

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar, en el índice electrid load fue tomado de la bibliografía y presentado en la Tabla 1 (Romero Villamil y Osorio Huertas, 2021) con el fin de determinar con mayor exactitud la demanda hora a hora en un día de una vivienda en Colombia.

Tabla 3. Valores media e intervalo

	Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Consumo (wh)	Media	66,06	58,07	53,61	91,01	213,75	271,89	328,75	300,72	289,79	230,41	227,78	256,47
Consumo (wh)	Confianza -	59,25	51,12	46,57	80,69	196,3	247,8	299,5	278,5	262,5	209,1	208,4	256,47
Consumo (wh)	Confianza +	73,95	65,75	62,8	104,16	233	300,2	362,4	326,6	319,9	254,2	250,8	283,2
Consumo (wh)	Desviación -	26,34	0,8	4,88	36,53	105,56	127,13	140,80	150,82	94,9	79,98	250,8	283,2
Consumo (wh)	Desviación +	105,78	115,34	102,34	145,49	321,94	416,65	516,7	450,62	484,68	380,84	358,43	379,96
	Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Consumo (wh))	Media	212,24	173,36	172,54	202,37	207,52	190,2	197,72	301,03	348,2	246,12	137,19	73,63
Consumo (wh)	Confianza -	197,6	160,4	160,1	186,1	190,7	174,8	180,6	278,3	325,2	226,9	126,3	67,43
Consumo (wh)	Confianza +	228,6	187,2	186,4	218,6	225,7	206,7	216,5	321,1	363,9	267,2	148,8	81,06
Consumo (wh)	Desviación -	113,52	97,02	95	85,43	84,72	82,72	70,1	148,71	176,23	118,86	62,19	29,53
c.(wh)	Desviación +	310,96	249,7	250,08	319,31	330,32	297,68	325,34	453,35	520,17	373,38	212,19	117,73

Tomando los datos de media en la Tabla 3 convertidos a KWh se insertan los valores obtenidos al software en cada una de las 8760 horas del año. Este valor fue multiplicado por el número de viviendas para así obtener la demanda hora a hora diaria de la microrred en estudio. Debido a que los valores obtenidos son un promedio diario, se le implementan estos datos hora a hora los 365 días del año, y así logramos cargar al sistema lo que necesitaba para suplir la demanda hora a hora en la pestaña de grid limits

2.2. Biomasa.

El modelo de energía de biomasa en SAM tiene la capacidad de adaptarse a plantas de combustibles sólidos de distintos tamaños y con diferentes combinaciones de biomasa o carbón. Aunque no existen restricciones explícitas en cuanto al tamaño de la planta en el modelo de SAM, es importante estimar

los insumos de biomasa, los costos de los componentes, los aspectos relacionados con el rendimiento, y los ajustes de manera adecuada al sistema que están simulando.

El modelo de energía de biomasa en SAM consta de cuatro módulos principales:

Ambient conditions: como con el sistema anterior, este nos ofrece una base de datos usando la información del sistema pasado para así obtener los demás resultados. La siguiente página es la de freedstock, a la que suministramos información teniendo en cuenta datos como que en la encuesta nacional de arroz mecanizado ENAM (2019) en Colombia se plantan aproximadamente 726.256 hectáreas de arroz, con una producción anual de 2.9 millones de toneladas y que de acuerdo a AGRONET Córdoba es uno de los principales departamentos productores de arroz se

decidió solo trabajar con 60 toneladas/año de rice Straw con un porcentaje de obtención del 50 %.

En Plant specs elegimos para el manejo de nuestra materia prima a "Secado hasta alcanzar la humedad de equilibrio (EMC)", se asume que la biomasa se expone a las condiciones atmosféricas el tiempo suficiente para alcanzar la EMC.

Aquí seleccionamos un horno ciclónico, primero que todo porque es el más adecuado para pequeñas plantas y uno de los más económicos, además si en algún momento se decide cambiar de combustible no presentará inconvenientes gracias a su flexibilidad. Para la selección de steam grade no basamos en la recomendación del manual el cual nos informa que los hornos ciclónicos y de parrilla suelen tener temperaturas más elevadas, las cuales se encuentran alrededor de 900 °F, y presiones entre 1,200-1,500 psig.

El ciclo Rankine de vapor, conocido como ciclo de potencia, incluye los equipos necesarios para convertir el calor contenido en el vapor de la caldera en energía eléctrica. Para el modelo de biopoder, esto implica un ciclo Rankine de vapor convencional y un generador eléctrico dado que las conversiones del ciclo de vapor están alrededor del 30% al 40% eficientes, además el modelo de biopoder de SAM se enfoca únicamente en la generación de electricidad y nos basamos en esto para hacer un promedio y hallar la eficiencia de conversión del ciclo Rankine que es una medida de cuánta energía térmica se convierte en energía eléctrica en el ciclo que sería de 0.35; una carga mínima 0.25 y una carga máxima del 1.1 además determinamos un

horario de operación continuo a lo largo del año con paradas para mantenimiento necesarias.

Y en la última página es la de Emissions que genera información acerca de las emisiones evitadas y la producción de cenizas en comparación con una fuente de generación de energía alternativa, sin embargo, estas entradas no tienen impacto en el rendimiento modelado de la planta tratadora de biomasa.

2.3. Sistema de almacenamiento.

La configuración elegida para la simulación del sistema de almacenamiento fue PVWatts-Battery en la cual seleccionamos la opción residencial ya que es el campo en el cual estamos estudiando la implementación de la microrred. Luego, se tomó la información sobre el diseño del sistema, los costos, las tarifas de electricidad y la carga de la API REopt en línea, el cual nos calcula automáticamente un despacho personalizado con el fin de entregar la capacidad optima de la batería a implementar.

3. Resultados y discusión.

Al implementar el sistema fotovoltaico se obtiene a través de la simulación la generación de energía día a día en un año, la cual nos permite analizar el sistema que deseamos implementar y así obtener los valores de generación de energía mes a mes con los cuales disponemos para suplir la necesidad de abastecimiento. Para esto, se tomaron en cuenta las horas pico de consumo y las horas pico de generación de los paneles.

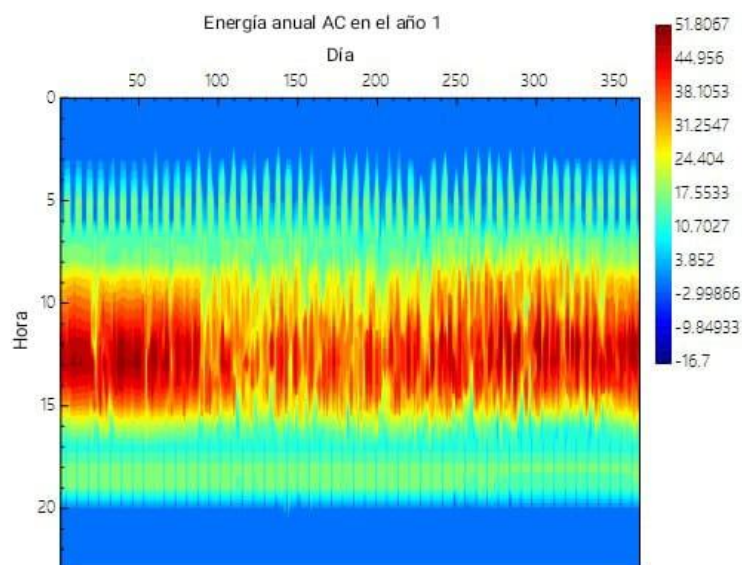


Figura 1. Generación de energía solar hora a hora diaria. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se observa los datos obtenidos por el sistema fotovoltaico donde nos muestra la generación

de energía mes a mes y nos compara la demanda respecto a la generación obtenida.

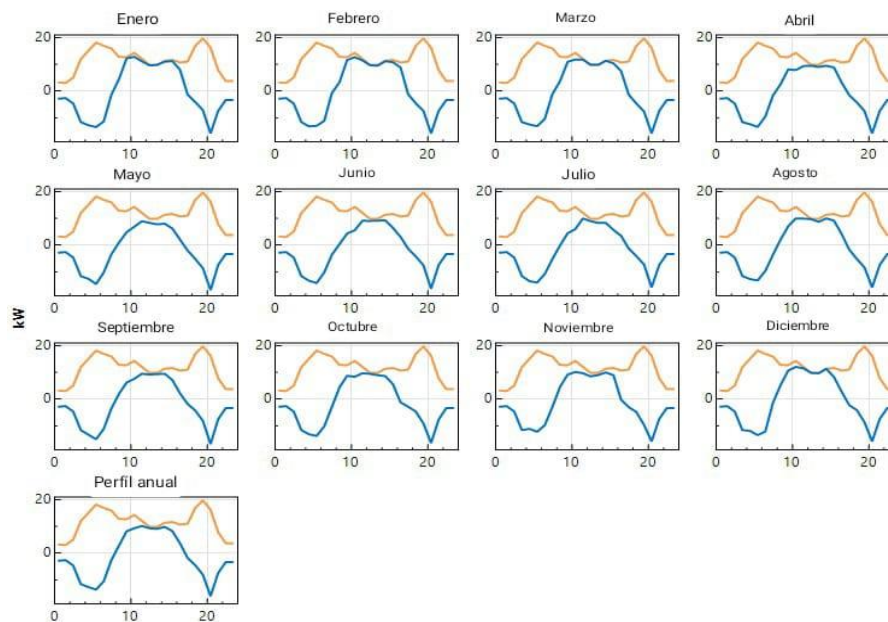


Figura 2. Entrega de energía mes a mes respecto a la demanda mes a mes. Fuente: Elaboración propia

Para el caso la biomasa obtenemos la generación de energía anual y el requerimiento en toneladas de rice Straw por mes el cual es el producto usado para generación de energía. A demás, podemos observar la generación de energía por biomasa diaria anual de

energía. Lo cual nos da un total 15421 KWh al año. Se puede ver que la generación de biomasa alcanza los picos cuando la generación de los paneles es baja en las horas nocturnas.

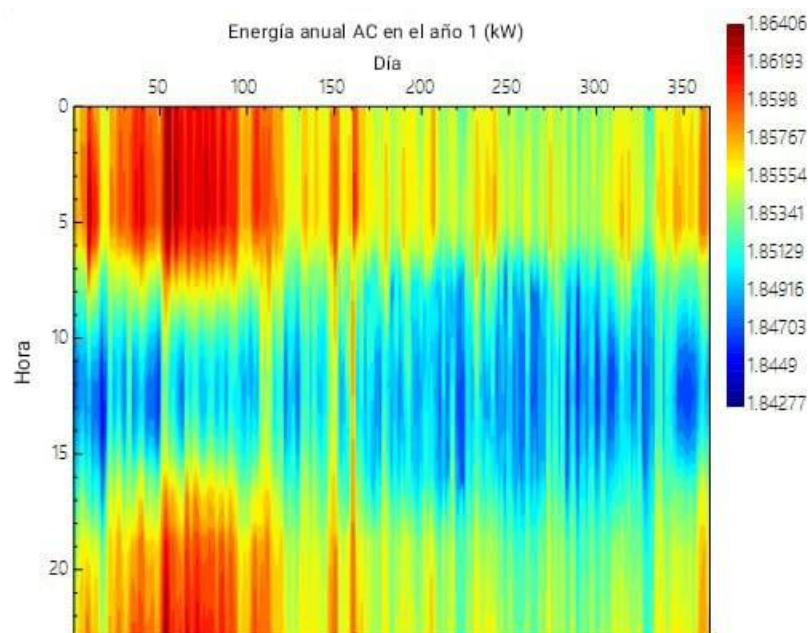


Figura 3. Generación de energía a partir de biomasa hora a hora diaria. Fuente:

Sabiendo que la demanda anual de las 60 casas en estrato 1 y 2 es de 98096.67 KWh año, nos basta con

estas dos energías para suplir esta demanda, y con lo sobrante cargar nuestro sistema de almacenamiento en

baterías e inyectar energía a la red convencional logrando así una mayor eficiencia en el sistema ante cualquier eventualidad. Con esta incorporación de nuestra planta de biomasa además de estar interconectado a la red eléctrica con la cual se supliría dicha necesidad sin problemas de falta de recursos. Sabiendo, que a partir de la energía solar se genera mayor cantidad de energía se manejará una proporción de 70% energía solar y 30% energía generada a partir de la biomasa para el abastecimiento de la energía que necesita la microrred en estudio.

El análisis planteado está basado en las páginas de financiamiento y costos generadas por nuestra herramienta informática utilizada System Advisor Model (SAM). Estos resultados obtenidos nos permitieron llegar a conclusiones y obtener información que podemos implementar en casos donde las variables sean similares, para así al momento de implementar la microrred se tenga claro ventajas y desventajas que se presentan a la hora de llevar a cabo un proyecto con esta estructura.

3.1. Análisis económico.

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	83,498 kWh
DC capacity factor in Year 1	15.2%
Energy yield in Year 1	1,330 kWh/kW
Battery roundtrip efficiency	87.17%
Battery charge energy from system	99.3%
LCOE Levelized cost of energy nominal	16.13 ¢/kWh
LCOE Levelized cost of energy real	12.88 ¢/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$13,369
Electricity bill with system (year 1)	\$2,286
Net savings with system (year 1)	\$11,083
Net present value	\$661
Simple payback period	NaN
Discounted payback period	NaN
Net capital cost	\$389,211
Equity	\$0
Debt	\$389,211

Figura 4. Producción y costos de generación en energía fotovoltaica. Fuente:[8]

Metric	Value
Annual AC energy (year 1)	15,421 kWh
Annual biomass usage (year 1)	30 dry tons/yr
Capacity factor (year 1)	79.5%
PPA price in Year 1	12.00 ¢/kWh
PPA price escalation	1.00 %/year
LPPA Levelized PPA price nominal	13.37 ¢/kWh
LPPA Levelized PPA price real	9.76 ¢/kWh
LCOE Levelized cost of energy nominal	176.81 ¢/kWh
LCOE Levelized cost of energy real	129.07 ¢/kWh
NPV Net present value	\$-274,537
IRR Internal rate of return	NaN
Year IRR is achieved	20
IRR at end of project	NaN
Net capital cost	\$460,640
Equity	\$464,168
Size of debt	\$-3,528
Debt percent	-0.77%

Figura 5. Producción y costos de generación en energía a partir de la biomasa. Fuente:[8]

4. Conclusiones.

Como podemos observar la generación de energía eléctrica a partir de la energía solar sería de 83498 KWh durante el año por lo que esta generación sumada con la de biomasa la cual es de 15421 KWh al año nos brinda la posibilidad de suplir la necesidad de nuestra microrred. A demás, logramos evidenciar el valor presente neto y el costo de la generación de la energía, donde tomando información de las bases de datos implementadas por el software, se asumen valores de costos de infraestructura, distribución, mano de obra, entre otros. Con todo esto teniendo la posibilidad de variar los años para el análisis económico en el software se llega a la conclusión que la implementación de la microrred es viable con generación de energía fotovoltaica la cual en un periodo de 43 años nos brinda el retorno de la inversión, en cambio la biomasa siendo analizada al plazo máximo permitido por el software de 50 años no nos genera un valor presente positivo, lo que nos permite concluir que la implementación de generación de energía a partir de la biomasa no es un proyecto viable debido a que este conlleva asumir costos elevados los cuales no son factibles para un proyecto el cual su principal objetivo es la optimización de los recursos.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Córdoba como fuente de financiación, en el marco de la Sostenibilidad de los Grupos de investigación del Departamento de Ingeniería Mecánica asociado al

Grupo Ingeniería, Ciencia y Tecnología – ICT, así mismo a la Universidad del Sinú con el apoyo del programa de Ingeniería Electromecánica de la Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías enmarcado dentro del programa de movilidad profesoral entre programas académicos de pregrado y posgrado de facultades de Ingeniería de Instituciones de Educación Superior de la Región Caribe Colombiana ACOFI.

6. Referencias.

- [1] H. Kumar, G. Tejaswini y A. Holgal, «Hybrid Power Generation Using Non-Conventional Energy Sources. Perspectives in Communication, Embedded-systems and Signal-processing-PICES,» 2019.
- [2] S. R. Weiskopf, M. A. Rubenstein, L. G. Crozier, S. Gaichas, R. H. J. E. Griffis y K. P. Whyte, «Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States.,» 2020.
- [3] A. M. Levenda, I. Behrsin y F. Disano, «Renewable energy for whom? A global systematic review of the environmental justice implications of renewable energy technologies.,» 2021.
- [4] S. Ali, Z. Zheng, M. Aillerie, J. P. Sawicki, M. C. Pera y D. Hissel, «A review of DC Microgrid energy management systems dedicated to residential applications.,» 2021.
- [5] A. Keyhami, «Smart power grids.,» 2011.

- [6] Y. Zheng, B. M. Jenkins, K. Kornbluth, A. Kendall y C. Træholt, «Optimization of a biomass-integrated renewable energy microgrid with demand side management under uncertainty. Applied Energy,,» 2018.
- [7] F. H. Carlos Villa, «Oversizing grid-connected microgrids as a business model—An optimisation assessment approach,» 2022.
- [8] A. B. H. S. K. B. H. S. Tathagata Sarkara, «Optimal design and implementation of solar PV-wind-biogas-VRFB storage integrated smart hybrid microgrid for ensuring zero loss of power supply probability,» 2019.