

**DIMENSIONADO DE FUENTES DE ENERGÍA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS
HÍBRIDOS EN ZONAS NO INTERCONECTADAS AL SIN. APLICACIÓN A
MICRORREDES CON INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES,
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA Y GENERACIÓN DIÉSEL EN EL MUNICIPIO
DE URIBÍA, DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA.**

DAVID RAÚL QUINTERO SARMIENTO



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

BUCARAMANGA

2019

**DIMENSIONADO DE FUENTES DE ENERGÍA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS
HÍBRIDOS EN ZONAS NO INTERCONECTADAS AL SIN. APLICACIÓN A
MICRORREDES CON INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES,
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA Y GENERACIÓN DIÉSEL EN EL
MUNICIPIO DE URIBÍA, DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA.**

DAVID RAÚL QUINTERO SARMIENTO

**Monografía presentada como requisito para optar al título de:
Especialista en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica**

Director:

JAVIER SOLANO MARTÍNEZ

PhD. en Ingeniería Eléctrica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

BUCARAMANGA

2019

CONTENIDO

INTRODUCCION	10
1. METODOLOGÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UNA MICRORRED.....	11
1.1 IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA	11
1.2 DISIPONIBILIDAD DEL RECURSO RENOVABLE	14
1.2.1. Irradiación solar.....	14
1.2.2 Recurso eólico.....	16
1.3 CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN DE SIAPANA.....	17
1.3.1 Aplicación de encuesta a pobladores.....	17
1.3.2. Delimitación de usuarios	19
1.4 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA	22
1.4.1 Escenario 1 consumo básico 38 kWh/mes.....	22
1.4.2 Escenario 2 consumo básico más refrigeración	24
1.4.3 Escenario 3 consumo básico más refrigeración y ventilación	25
2. SIMULACIONES DE LOS SISTEMAS	27
2.1 MODELAMIENTO DE LOS EQUIPOS	27
2.1.1 Modelado paneles fotovoltaicos	27
2.1.2 Aerogeneradores.....	28
2.1.3 Baterías	28
2.1.4 Inversor	29
2.1.5 Generador diésel.....	30
2.2 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN	31
2.2.1 Valores de generación.....	31
2.2.2 Costos económicos	31
2.2.3 Generación de dióxido y monóxido de carbono	33
3. CONCLUSIONES.....	34
BIBLIOGRAFÍA	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos generales del municipio de Uribí.....	12
Tabla 2 Comparativo de irradiación solar (kWh/m ²) en el municipio de Uribí.	15
Tabla 3. Valores de velocidad del viento promedio en la Alta Guajira.....	17
Tabla 4. Encuesta de consumos y usos de energía.....	18
Tabla 5. Uso de energía en aparatos eléctricos	19
Tabla 6. Resumen escenario consumo básico.....	22
Tabla 7. Pérdidas admisibles en sistemas de distribución de BT.....	23
Tabla 8 Resumen escenario 2: consumo básico más refrigeración	24
Tabla 9. Resumen escenario 3: consumo básico, refrigeración y ventilación	25
Tabla 10. Valores de generación en kW.	31
Tabla 11 Generación anual de dióxido de carbono	33

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo metodología de dimensionamiento de la microrred...	11
Figura 2. Ubicación del municipio de Uribí, Alta Guajira.	12
Figura 3. Número de hogares encuestados por vereda	13
Figura 4. Irradiación solar por kWh/m ²	14
Figura 5. Horas de sol anuales.....	15
Figura 6. Velocidad promedio anual del viento en superficie (0 m).	16
Figura 7. Velocidad del viento promedio anual a 50 m.....	16
Figura 8. Proximidad de hogares en la vereda Siapana.....	20
Figura 9. Uso de energía en la vereda Siapana.	20
Figura 10. Disponibilidad de pago de energía usuarios de la vereda Siapana.....	21
Figura 11. Fuentes de energía para iluminar hogares en la vereda Siapana.	21
Figura 12. Perfil de consumo básico 38.25 kWh/mes.	23
Figura 13. Perfil de consumo básico más refrigeración 62.25 kWh/mes.	24
Figura 14. Perfil de consumo básico más refrigeración y ventilación.	26
Figura 15. Modelamiento panel fotovoltaico	28
Figura 16. Modelamiento generador eólico	28
Figura 17. Modelo de batería usado en la simulación del sistema	29
Figura 18. Modelo de inversor empleado en la simulación	29
Figura 19. Modelo de generador diésel seleccionado en HOMER.....	30
Figura 20. Modelo de sistema para simulación en HOMER.....	30
Figura 21. Costos totales del sistema	32
Figura 22. Valor del kWh en COP	32
Figura 23. Costos de operación y mantenimiento	33

RESUMEN

TÍTULO: Dimensionado de fuentes de energía en sistemas eléctricos híbridos en zonas no interconectadas al sin. aplicación a microrredes con integración de energías renovables, almacenamiento de energía y generación diésel en el municipio de Uribí, departamento de La Guajira*.

AUTOR: David Raúl Quintero Sarmiento**

PALABRAS CLAVE: Microrred, ZNI, Fuentes Renovables, Energías Alternativas, Aerogenerador, Panel Fotovoltaico, Baterías, Grupo Electrónico.

DESCRIPCIÓN: Existen alrededor de 17000 hogares sin servicio de energía eléctrica, ubicados en las zonas no interconectables ZNI del Sistema Interconectado Nacional SIN. Estos hogares se localizan principalmente los departamentos de La Guajira, Chocó, Antioquia (Urabá) y Córdoba. Se seleccionó la zona rural del municipio de Uribí en el departamento de La Guajira, con el fin de caracterizar su consumo energético y poder dimensionar un sistema híbrido, que brinde el acceso de sus pobladores a la energía eléctrica. En este documento se muestra una metodología para dimensionar la microrred teniendo alternativas de generación tipo diésel, tipo solar y tipo eólico. Para el desarrollo de la metodología se recopilan datos socioeconómicos mediante la aplicación de una encuesta a los habitantes de la zona, con los resultados obtenidos se tipifican los usos de energía y se establecen tres curvas de consumo. Los datos de las curvas se introducen en el software HOMER Pro Microgrid Analysis Tool y se realizan las simulaciones. La herramienta de software permite dimensionar los equipos de generación eólica, solar y diésel, también los tamaños de baterías y del inversor. Finalmente se muestran los costos de Operación y Mantenimiento O&M de las soluciones generadas en la simulación, y se determinan las características del sistema de microrred más eficiente.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director Javier Enrique Solano Martínez PhD. Ingeniería Eléctrica.

ABSTRACT

TITTLE: Sizing of power sources in hybrid electrical systems in no interconnected areas to sin. aplication to microgrids with integration of renewable energies, energy storage and diesel generation on the municipality of Uribia, La Guajira deparment*

AUTHOR: David Raúl Quintero Sarmiento**

KEYWORDS: Microgrid, ZNI, Renewable Sources, Alternative Energies, Wind Turbine, Photovoltaic Panel, Batteries, Diesel Generator.

DESCRIPTION: There are about 17,000 households without electric power service, these homes located in the non-interconnectable zones ZNI of the National Interconnected System SIN. These homes are mainly located in the departments of La Guajira, Chocó, Antioquia (Urabá) and Córdoba. The rural area of the municipality of Uribí in the department of La Guajira was selected for characterize the energy consumption and to be able to size a hybrid system. This document shows a methodology for sizing microrred having diesel, solar and wind type generation alternatives. For the development of the methodology, socioeconomic data is collected through the application of a survey of the population. With the results obtained, energy uses are typified and three consumption curves are established. Curve data is entered into the HOMER Pro Microgrid Analysis Tool software and simulations are performed. The software tool allows sizing of wind, solar and diesel generation equipment, also the sizes of batteries and inverter. Finally, the O&M Operation and Maintenance costs of the solutions generated in the simulation are shown, and the characteristics of the most efficient microrred system are determined.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director Javier Enrique Solano Martínez PhD. Ingeniería Eléctrica.

INTRODUCCION

Este documento presenta una metodología para el dimensionamiento de una microrred híbrida, combinando fuentes renovables, generación diésel y baterías para el almacenamiento de la energía.

El Capítulo I inicia con la identificación geográfica de la zona, se ubicó en el caserío Siapana del área rural del municipio de Uribía, en el departamento de La Guajira. Luego de establecer el área de influencia, se revisó la disponibilidad del recurso renovable para la generación eólica y fotovoltaica.

El siguiente paso consistió en realizar una encuesta a los pobladores de Siapana, en donde se recolectó información socioeconómica y datos de los usos de energía. Posteriormente con base en la información obtenida se procedió a caracterizar la demanda de energía, se establecieron tres escenarios básicos de consumo con sus respectivas curvas de demanda diaria.

En el Capítulo II, con base en las curvas de demanda diaria de energía, se realizaron simulaciones de los casos de consumo por medio del software HOMER Pro Microgrid Analysis Tool. Como resultado se obtuvo soluciones híbridas combinadas de tipo: generación diésel + paneles fotovoltaicos + baterías y un siguiente caso con generación diésel + generación eólica + generación fotovoltaica + baterías. De estos resultados, se identifica el caso más conveniente desde el punto de vista económico para cada uno de los tres escenarios de consumo.

Finalmente, en el Capítulo III se presentan las conclusiones.

1. METODOLOGÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UNA MICRORRED

En el presente documento se desarrolla una metodología para el dimensionamiento de una microrred híbrida en el municipio de Uribí, departamento de La Guajira. La metodología se basa en lo expuesto en un artículo especializado¹. Se establecen 4 etapas mostradas en la Figura 1, las cuales se van exponiendo en el Capítulo I.

En la Sección 1.1 se identifica la zona de influencia. Posteriormente, en la Sección 1.2 se hace la revisión de la disponibilidad del recurso renovable solar y eólico. En la Sección 1.3 se muestran algunos aspectos socioeconómicos y de los usos de energía eléctrica de la población de Siapana. La Sección 1.4 sigue con la caracterización de la demanda de energía y estimación de los perfiles de carga. Por último, en el Capítulo II se muestra el dimensionamiento de los elementos de la microrred y la evaluación económica de la solución energética.

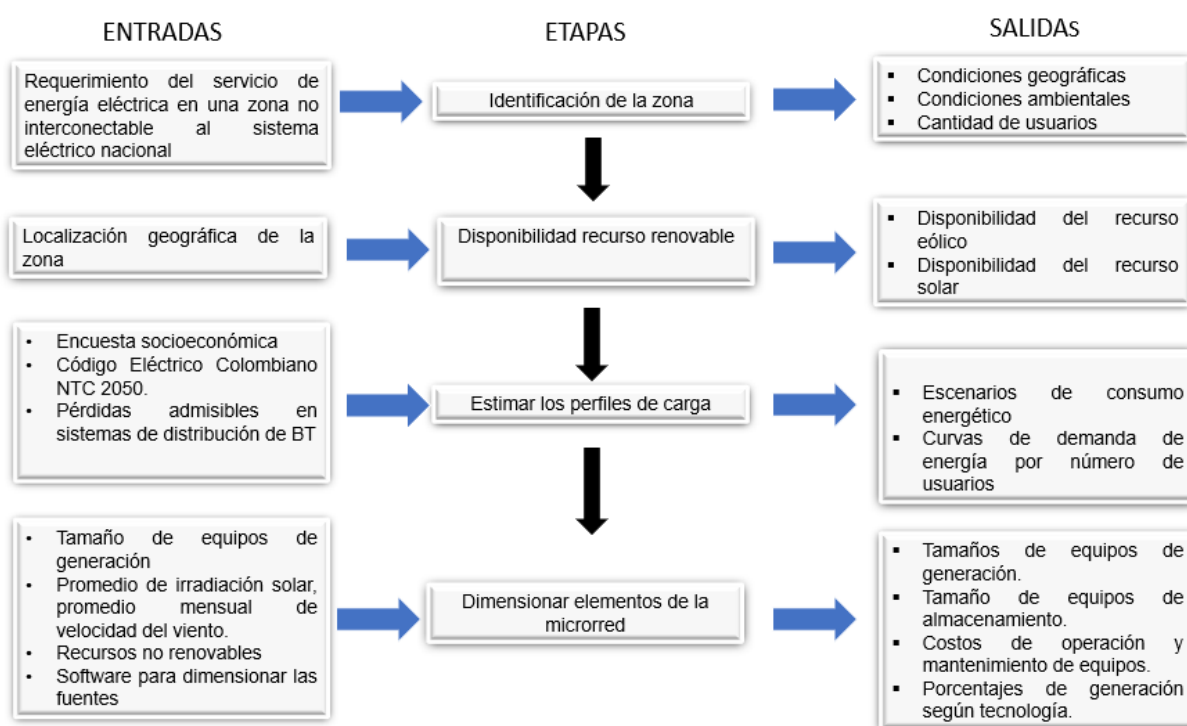


Figura 1. Diagrama de flujo metodología de dimensionamiento de la microrred.

1.1 IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA

La población objetivo para el dimensionamiento de la microrred fue la vereda de Siapana ubicada en el extremo norte de Colombia en el departamento de La Guajira.

¹ J. D. Garzón Hidalgo, A. J. Saavedra Montes, "Una metodología de diseño de microrredes para zonas no interconectadas de Colombia", TecnoLógicas, vol.20, No.39, mayo-agosto, 2017.



Figura 2. Ubicación del municipio de Uribí, Alta Guajira.

Fuente Sitio web gobernación de la Guajira. Disponible: <http://www.laguajira.gov.co>

Según datos del DANE y de la gobernación de La Guajira, el municipio de Uribí se localiza al norte del departamento de La Guajira, tiene una extensión de 7.934 m², está dividido en 1 cabecera municipal y 19 corregimientos. La población estimada es de 180,385 personas, de las cuales el 7.2% (12950) viven en el casco semiurbano y el 92.8% (167435) habitan en las áreas rurales.

La Tabla 1 muestra los datos geográficos del municipio de Uribí.

Tabla 1 Datos generales del municipio de Uribí

Límites del municipio	Limita por el norte y el oriente con el mar Caribe; por sur con Venezuela; por el suroccidente con el municipio de Maicao y por el occidente con el municipio de Manaure.
Extensión total	8200 km ²
Extensión área urbana	6 km ²
Extensión área rural	8190 km ²
Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar)	10 msnm
Temperatura media	34°C
Distancia de referencia	92 km de Riohacha

En el municipio de Uribí, se tienen catorce veredas que fueron objeto de un estudio socioeconómico², para determinar los hábitos de consumo de energía de la población. Basados en este estudio se determinaron el número de hogares por vereda, los resultados se muestran en la Figura 3.

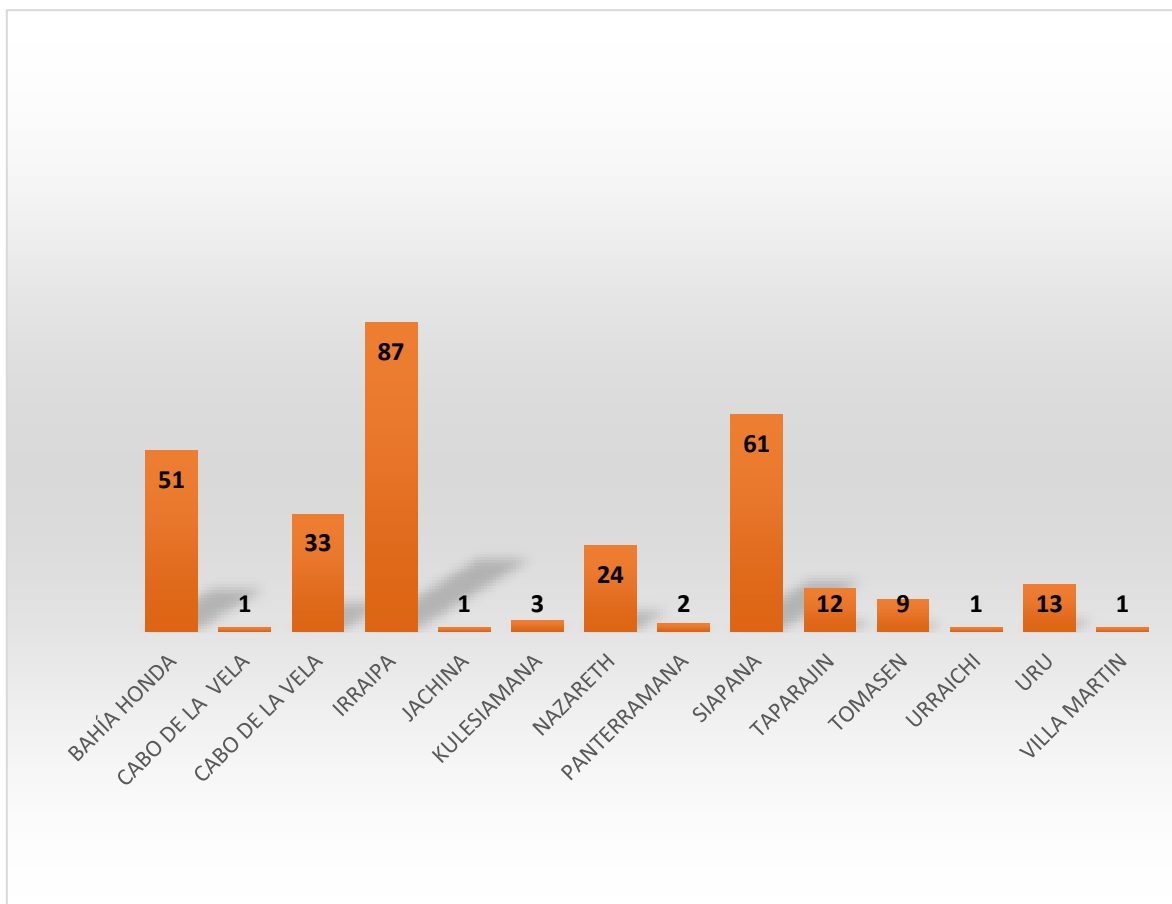


Figura 3. Número de hogares encuestados por vereda

Se observa que la mayor concentración de población se encuentra en las veredas Irraipa, Siapana y Bahía Honda en su orden. En este documento se escogió como población objetivo la vereda de Siapana, debido a que sus pobladores están menos dispersos que los habitantes de la vereda Irraipa.

²Esquemas empresariales en zonas no interconectadas y selección de inversionistas Guajira, Norte del Chocó, Urabá Antioqueño y Tierralta Córdoba. "Estructuración técnica y financiera de la zona 1 Guajira". Unión Temporal Incorbank/PravneConsultingGroup S.A.S, Bogotá, Julio de 2016.

1.2 DISPONIBILIDAD DEL RECURSO RENOVABLE

1.2.1. Irradiación solar

Los datos de referencia de irradiación y brillo solar fueron tomados del “Atlas de Radiación Solar” del IDEAM³.

Para el municipio de Uribí, el valor de irradiación solar media anual está entre 5.0 y 5.5 kWh/m². Adicionalmente los datos de brillo solar muestran que para esta zona se tienen de 6 a 7 horas diarias de sol. En las Figuras 3 y 4 se muestran los niveles mencionados.

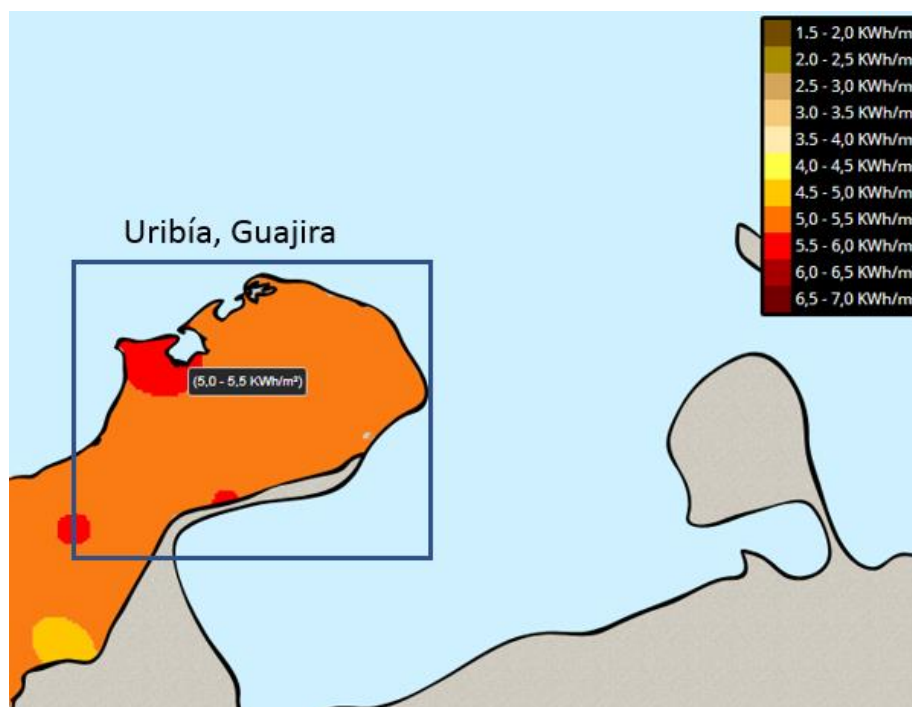


Figura 4. Irradiación solar por kWh/m²

Fuente: Atlas de radiación solar IDEAM. Disponible: <http://atlas.ideam.gov.co>

³ Mapa interactivo de radiación solar en Colombia, en internet: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

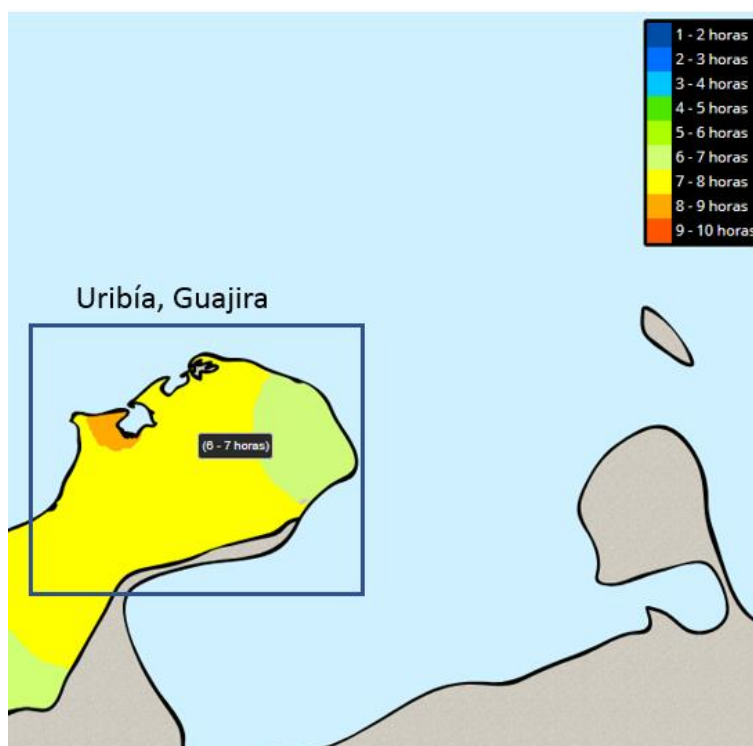


Figura 5. Horas de sol anuales.

Fuente: Atlas radiación solar IDEAM Disponible: <http://atlas.ideam.gov.co>

Una comparativa de irradiación solar medida en kWh/m² se muestra en la Tabla 2, los datos de la columna 2 pertenecen al software de simulación HOMER y se basan en datos recopilados por la NASA a nivel mundial durante 22 años. Por otra parte, los datos de la columna 3 son los suministrados por el “Atlas de Radiación Solar “. Comparando los valores de irradiación promedio anual se encuentra que son similares.

Tabla 2 Comparativo de irradiación solar (kWh/m²) en el municipio de Uribía.

Mes	HOMER	IDEAM
Enero	5,86	5,50
Febrero	6,51	6,00
Marzo	7,02	6,00
Abril	6,92	5,50
Mayo	6,72	5,50
Junio	7,00	6,00
Julio	7,13	6,00
Agosto	7,17	6,00
Septiembre	6,66	6,00
Octubre	5,99	5,50
Noviembre	5,57	5,00
Diciembre	5,39	5,00
Promedio	6,50	5,67

1.2.2 Recurso eólico

Para obtener datos de velocidad promedio de viento anual, se consultó el “Atlas de Viento”⁴, se encontró que la disponibilidad del recurso eólico en el área escogida para el dimensionamiento de la microrred es alta.

Los datos de velocidad del viento promedio fueron tomados a una altura 0 y a una altura de 50 m, estos se muestran en las siguientes figuras:



Figura 6. Velocidad promedio anual del viento en superficie (0 m).
Fuente: Atlas de viento IDEAM Disponible: <http://atlas.ideam.gov.co>



Figura 7. Velocidad del viento promedio anual a 50 m.
Fuente: Atlas de viento IDEAM Disponible: <http://atlas.ideam.gov.co>

⁴ Mapa interactivo de viento en Colombia, en internet: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>

De la Figura 6 se observa que el valor de la velocidad media anual del viento está entre los 7 m/s y los 8 m/s. Análogamente, al observar la Figura 7 se tiene que el valor medio de la velocidad anual del viento a una altura de 50m es de entre 10 m/s y 11 m/s.

Tabla 3. Valores de velocidad del viento promedio en la Alta Guajira

Mes	Velocidad (m/s)
Enero	8,75
Febrero	9,08
Marzo	8,85
Abril	7,41
Mayo	6,50
Junio	7,56
Julio	7,74
Agosto	6,64
Septiembre	5,43
Octubre	5,14
Noviembre	6,08
Diciembre	7,88
Promedio	7,26

Los datos de velocidad promedio de viento a 50 m mostrados en la Tabla 3 se tomaron del software de simulación HOMER, se tiene que el valor promedio mensual de la velocidad del viento es de 7.26 m/s, este valor aplica para la zona rural del municipio de Uribía, donde se encuentra la población objetivo.

1.3 CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN DE SIAPANA

Con el fin de caracterizar el consumo de la vereda Siapana, se recopiló información socioeconómica y usos de energía a través de la aplicación de una encuesta.

1.3.1 Aplicación de encuesta a pobladores

La aplicación de la encuesta tuvo lugar en el año el 2015 por iniciativa del PERS (Plan de Energización Rural Sostenible), CORPOGUAJIRA y el SENA. En la encuesta se consideraron varios aspectos como el número de residentes en el hogar, el número de cuartos, el uso de energía y la clase de electrodomésticos que poseen. Los hogares fueron georreferenciados para determinar la proximidad entre

ellos. En las Tablas 4 y 5 muestran algunas de las preguntas más relevantes asociadas al tipo de vivienda y los usos de energía para electrodomésticos.⁵

Tabla 4. Encuesta de consumos y usos de energía

 Encuesta de Consumos y Usos de Energía Sector Residencial - Departamento de La Guajira 																																																
Buenos días o tardes, mi nombre es _____, trabajo para el Programa de Energización Rural Sostenible y en este momento estamos realizando un estudio conjuntamente con el SENA y Corpoguajira sobre usos y consumo de energía en el sector rural. Solicitamos su colaboración con esta encuesta donde sus respuestas tendrán un tratamiento confidencial y serán utilizadas con fines estadísticos y académicos.																																																
Formulario FORMU Nombre encuestador ENCUESTADOR Día Mes Fecha Encuesta FDIA FMES	5. ¿Cuántos hogares residen en la vivienda? (familiares o no) R5																																															
1. IDENTIFICACIÓN DE LA VIVIENDA 1. Nombre de la persona que contesta la encuesta NOMBRE	6. ¿Cuántas personas componen el hogar? R6 7. Por favor indique el número de cuartos del hogar: <table border="1"> <tr> <td>Sala</td> <td>R7.1</td> <td>Cocina</td> <td>R7.2</td> </tr> <tr> <td>Comedor</td> <td>R7.3</td> <td>Baño</td> <td>R7.4</td> </tr> <tr> <td>Habitaciones</td> <td>R7.5</td> <td>Garage</td> <td>R7.6</td> </tr> <tr> <td>Bodega</td> <td>R7.7</td> <td>Otro, _____</td> <td>R7.8</td> </tr> </table>	Sala	R7.1	Cocina	R7.2	Comedor	R7.3	Baño	R7.4	Habitaciones	R7.5	Garage	R7.6	Bodega	R7.7	Otro, _____	R7.8																															
Sala	R7.1	Cocina	R7.2																																													
Comedor	R7.3	Baño	R7.4																																													
Habitaciones	R7.5	Garage	R7.6																																													
Bodega	R7.7	Otro, _____	R7.8																																													
7. USOS DE ENERGÍA EN ILUMINACIÓN 40. ¿Cuál es la fuente de iluminación principal en la vivienda? (Si no utiliza energía eléctrica, marque la opción y siga con la 41) (UR) <table border="1"> <tr> <td>Energía Eléctrica</td> <td>1</td> <td>⇒</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>Energía Eléctrica vía renovables (solar)</td> <td>2</td> <td>⇒</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>Lámpara de Gas Propano</td> <td>3</td> <td></td> <td>R40.3</td> </tr> <tr> <td>Lámpara de Kerosene o petróleo</td> <td>4</td> <td></td> <td>R40.4</td> </tr> <tr> <td>Lámpara de Gasolina</td> <td>5</td> <td></td> <td>R40.5</td> </tr> <tr> <td>Velas</td> <td>6</td> <td></td> <td>R40.6</td> </tr> <tr> <td>Pilas o baterías</td> <td>7</td> <td></td> <td>R40.7</td> </tr> <tr> <td>Leña, fogón</td> <td>8</td> <td></td> <td>R40.8</td> </tr> </table> R40	Energía Eléctrica	1	⇒	42	Energía Eléctrica vía renovables (solar)	2	⇒	42	Lámpara de Gas Propano	3		R40.3	Lámpara de Kerosene o petróleo	4		R40.4	Lámpara de Gasolina	5		R40.5	Velas	6		R40.6	Pilas o baterías	7		R40.7	Leña, fogón	8		R40.8	4. IDENTIFICACIÓN USO DE ENERGÍA 18. ¿La vivienda utiliza servicio de energía eléctrica? (UR) R18 R18.1 No utiliza energía eléctrica <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>⇒</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td>R18.2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td>R18.3</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td>R18.4</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td>R18.5</td> </tr> </table> Sí, conectado a la red pública (interconexión) Sí, a través de planta municipal Sí, a través de planta propia Sí, a través de planta compartida	1	⇒	27	2		R18.2	3		R18.3	4		R18.4	5		R18.5
Energía Eléctrica	1	⇒	42																																													
Energía Eléctrica vía renovables (solar)	2	⇒	42																																													
Lámpara de Gas Propano	3		R40.3																																													
Lámpara de Kerosene o petróleo	4		R40.4																																													
Lámpara de Gasolina	5		R40.5																																													
Velas	6		R40.6																																													
Pilas o baterías	7		R40.7																																													
Leña, fogón	8		R40.8																																													
1	⇒	27																																														
2		R18.2																																														
3		R18.3																																														
4		R18.4																																														
5		R18.5																																														

⁵ Esquemas empresariales en zonas no interconectadas y selección de inversionistas Guajira, Norte del Chocó, Urabá Antioqueño y Tierralta Córdoba. "Conformación del área de servicio exclusiva ASE de la zona 1 Guajira" Unión Temporal Incorbank/PravneConsultingGroup S.A.S, Bogotá, Julio de 2016.

Tabla 5. Uso de energía en aparatos eléctricos

11. USO DE ENERGÍA EN APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS														
69. ¿El hogar dispone de los siguientes aparatos domésticos?														
	No	Sí	⇒	Número	Especificac	Tiempo de uso		Frecuencia						
						Horas	Minutos	Nro días	S	M	A			
Olla arrocera	2	1	⇒	R69.1.2	Especificaciones de los aparatos	R69.1.3	R69.1.4	R69.1.5	1	2	3	R69.1.6		
Plancha	2	1	⇒	R69.2.2		R69.2.3	R69.2.4	R69.2.5	1	2	3	R69.2.6		
Sanduchera	2	1	⇒	R69.3.2		R69.3.3	R69.3.4	R69.3.5	1	2	3	R69.3.6		
Cafetera	2	1	⇒	R69.4.2		R69.4.3	R69.4.4	R69.4.5	1	2	3	R69.4.6		
Secadora	2	1	⇒	R69.5.2		R69.5.3	R69.5.4	R69.5.5	1	2	3	R69.5.6		
Lavadora	2	1	⇒	R69.6.2		⇒ R69.6.3	R69.6.4	R69.6.5	R69.6.6	1	2	3	R69.6.7	
Brilladora	2	1	⇒	R69.7.2		Potencia	R69.7.3	R69.7.4	R69.7.5	1	2	3	R69.7.6	
Licuadora	2	1	⇒	R69.8.2			R69.8.3	R69.8.4	R69.8.5	1	2	3	R69.8.6	
Aspiradora	2	1	⇒	R69.9.2			R69.9.3	R69.9.4	R69.9.5	1	2	3	R69.9.6	
Radio	2	1	⇒	R69.10.2			R69.10.3	R69.10.4	R69.10.5	1	2	3	R69.10.6	
Equipo de sonido	2	1	⇒	R69.11.2	Pulgadas	R69.11.3	R69.11.4	R69.11.5	1	2	3	R69.11.6		
Televisor	2	1	⇒	R69.12.2	Tipo* R69.12.3	R69.12.4	R69.12.5	R69.12.6	1	2	3	R69.12.7		
Televisor	2	1	⇒	R69.13.2	Tipo* R69.13.3	R69.13.4	R69.13.5	R69.13.6	1	2	3	R69.13.7		
Teatro en casa	2	1	⇒	R69.16.2		R69.16.3	R69.16.4	R69.16.5	1	2	3	R69.16.6		
DVD	2	1	⇒	R69.17.2		R69.17.3	R69.17.4	R69.17.5	1	2	3	R69.17.6		
Secador cabello	2	1	⇒	R69.18.2		R69.18.3	R69.18.4	R69.18.5	1	2	3	R69.18.6		
Computador	2	1	⇒	R69.19.2		R69.19.3	R69.19.4	R69.19.5	1	2	3	R69.19.6		
Otro,	2	1	⇒	R69.21.2		R69.21.3	R69.21.4	R69.21.5	1	2	3	R69.21.6		
Planta eléctrica	2	1	⇒	R69.20.2	Cap. R69.20.3	R69.20.4	R69.20.5	R69.20.6	1	2	3	R69.20.7		
					Combustible									

*Tipo de Televisor: Convencional = 1, LCD = 2, Plasma = 3, LED = 4.

Con base en los resultados obtenidos, se pudo establecer una población modelo para proyectar la solución de energía a través de un sistema híbrido.

1.3.2. Delimitación de usuarios

Según la georreferenciación obtenida con la aplicación de la encuesta, se tienen 61 hogares distribuidos en un radio aproximado de 1 km, desde el centro de carga mostrado en la Figura 8.

De los 61 hogares, se realizó una disgregación por la ubicación de los potenciales usuarios, se concentraron los hogares más próximos entre sí teniendo como resultado 46 viviendas separadas de un centro de carga definido equidistante a cada hogar. Sobre estos 46 hogares se hace el análisis de carga y el dimensionamiento de la microrred.

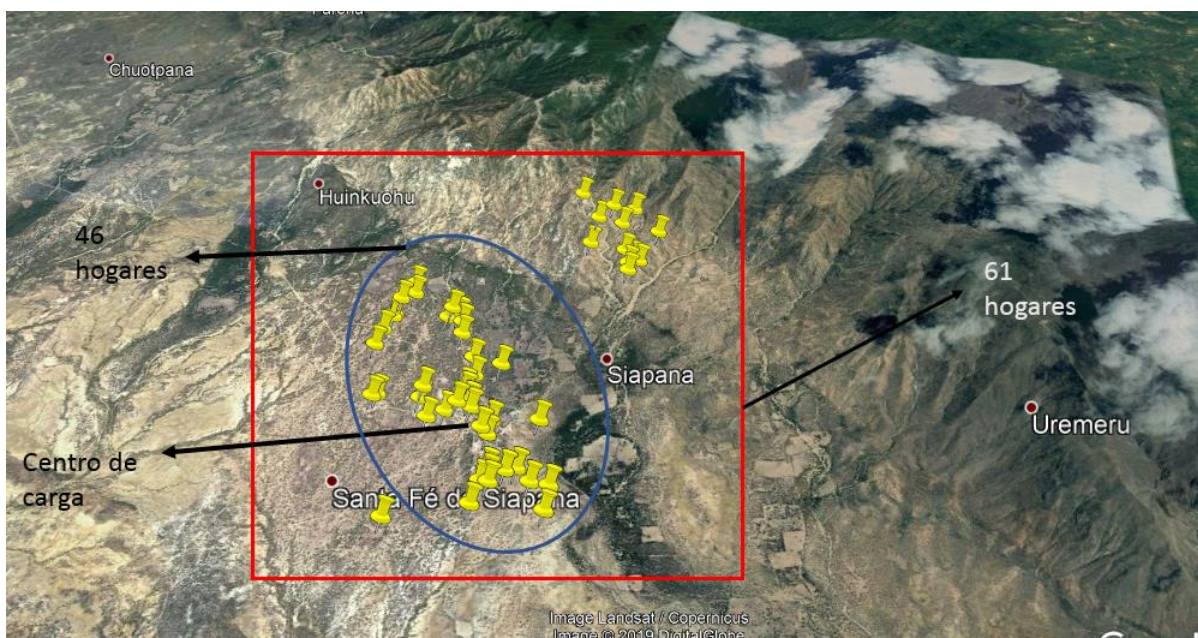


Figura 8. Proximidad de hogares en la vereda Siapana.

1.3.3 Usos de energía de usuarios

Los datos obtenidos con la aplicación de la encuesta arrojaron la siguiente información:

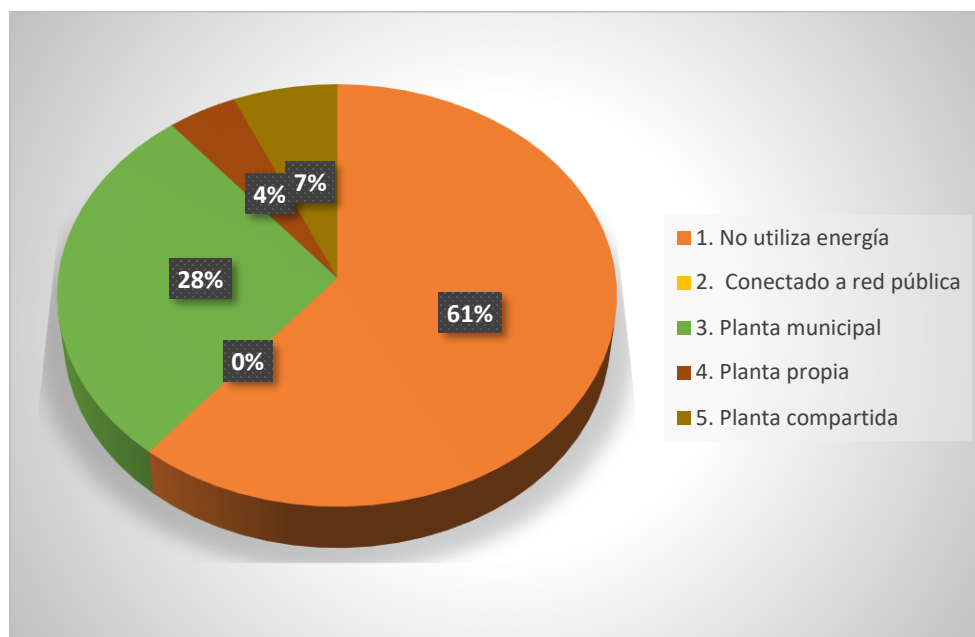


Figura 9. Uso de energía en la vereda Siapana.

En la Figura 9 se observa que el 61% de los hogares no usa energía eléctrica, sólo un 4% tiene planta propia, y el 35% restante de los usuarios se conectan a una planta comunal.

Se encontró que 40 hogares de los 46 definidos estarían dispuestos a pagar por recibir el servicio de energía eléctrica, mientras que sólo 6 de los hogares no tendrían como cubrir el servicio.

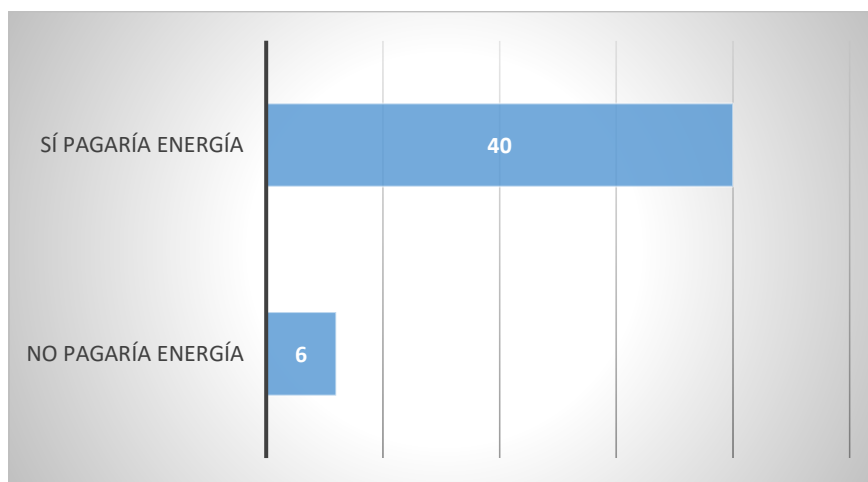


Figura 10. Disponibilidad de pago de energía usuarios de la vereda Siapana.

Finalmente, se encontró que los tipos de fuentes de iluminación para los 46 usuarios seleccionados, en su mayoría usan baterías, sólo 3 hogares usan energía eléctrica provista por generadores diésel para suplir la necesidad de iluminación.

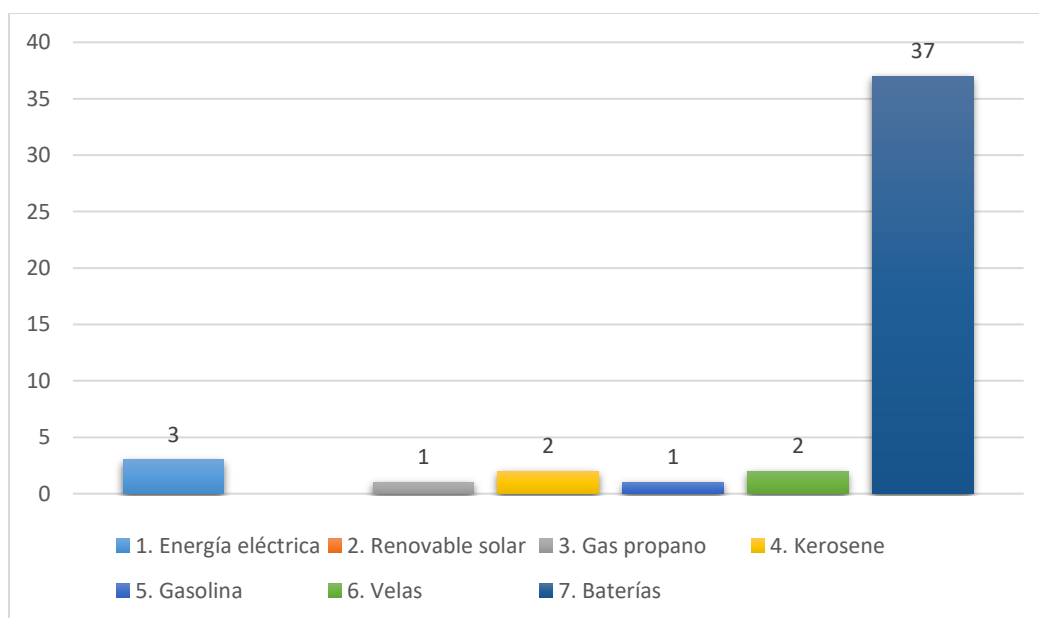


Figura 11. Fuentes de energía para iluminar hogares en la vereda Siapana.

Las características socioeconómicas encontradas en la población del municipio de Siapana, hacen que este sitio tenga potencial para el diseñar un sistema de electrificación rural, basado en una microrred híbrida y así poder suplir la necesidad de energía en la comunidad.

1.4 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA

Para la caracterización de la demanda se emplearon los datos de los encuestados de todo el departamento de La Guajira⁶. Según los datos recopilados, el 59.9 % de los encuestados usan una nevera, el 91.2 % tiene un promedio de 5 bombillas en su hogar, los televisores son utilizados por el 78.5 % de los hogares encuestados, los ventiladores por el 57.3%, la licuadora por el 39.1% y el equipo de sonido por el 20.5% de los domicilios.

Con base en esta información se implementaron 3 escenarios de demanda mensual de energía por usuario para el conjunto de 46 hogares con los que se dimensionará la microrred. Los perfiles de carga se relacionan a un consumo establecido en Wh/día y kWh/mes. A continuación, se muestran los casos:

1.4.1 Escenario 1 consumo básico 38 kWh/mes

Tabla 6. Resumen escenario consumo básico

ELEMENTOS CONECTADOS	POTENCIA EN W	HORAS DE USO AL DIA	CONSUMO AL DIA Wh/día	CONSUMO AL MES kWh/mes
BOMBILLA 1	15	7,0	105	3,15
BOMBILLA 2	15	7,0	105	3,15
BOMBILLA 3	15	7,0	105	3,15
BOMBILLA 4	15	7,0	105	3,15
BOMBILLA 5	15	7,0	105	3,15
TV	140	4,5	630	18,9
LICUADORA	200	0,2	40	1,20
CARGADOR CELULAR	5	1,0	5	0,15
OTROS	50	1,5	75	2,25
TOTAL	570	42,2	1275	38,25

La Tabla 6 resume los artefactos eléctricos, su potencia y su uso diario para completar un consumo básico por vivienda de 38 kWh/mes.

El perfil de consumo diario se tomó del estudio de oferta y demanda⁷.

El consumo total del sistema se halla aplicando la siguiente ecuación:

$$kVA_{Total} = F_p \cdot F_{Div} \cdot \#usuarios \cdot kVA_{usuario} \quad (\text{Ecuación 1})$$

⁶ Esquemas empresariales en zonas no interconectadas y selección de inversionistas Guajira, Norte del Chocó, Urabá Antioqueño y Tierralta Córdoba. "Caracterización de la oferta y la demanda de la zona 1 Guajira" Unión Temporal Incorbank/PravneConsultingGroup S.A.S, Bogotá, Julio de 2016.

⁷ Ibid. p. 89.

Donde el factor de diversificación (F_{div}) se toma de la NTC-2050 (Tabla 220-32). En el cual se especifica un factor de F_{div} de 0.27 para usuarios cercanos a 46. Por otra parte, el factor de pérdidas (F_p) se asumen igual al 10.5% de acuerdo con los requerimientos expuestos en el estudio realizado por la UPME, ver Tabla 7.

Tabla 7. Pérdidas admisibles en sistemas de distribución de BT.

ACTIVIDAD DE DISTRIBUCIÓN		
5	Las pérdidas técnicas en sistemas de distribución de baja tensión en ningún caso deberán superar 3,5%.	3,5%
6	Las pérdidas técnicas en sistemas de distribución, incluyendo el transformador media/baja tensión, en ningún caso deberán superar 7.0%.	7.0%

Aplicando la Ecuación 1 se obtiene una potencia total del sistema, para usuarios que consumen 38.25 kWh/mes con una capacidad instalada de 10 kVA, con un FP de 0.85 y una proyección de expansión del 20%. Este valor se ajusta al perfil de carga mostrado con anterioridad y se obtiene el siguiente perfil de carga para todo el sistema.

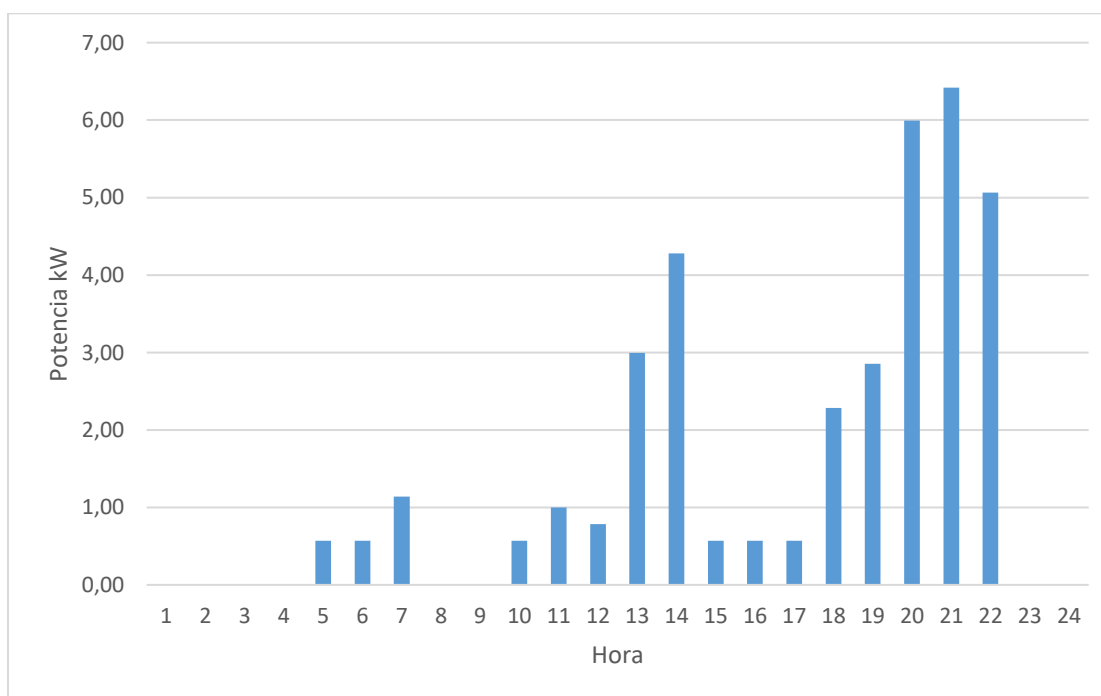


Figura 12. Perfil de consumo básico 38.25 kWh/mes.

Se tiene que el pico de consumo del sistema se da a las 20:00 horas del día con un valor de 6.42 kWh.

1.4.2 Escenario 2 consumo básico más refrigeración

Tabla 8 Resumen escenario 2: consumo básico más refrigeración

ELEMENTOS CONECTADOS	POTENCIA EN W	HORAS DE USO AL DÍA	CONSUMO AL DÍA Wh/día	CONSUMO AL MES kWh/mes
BOMBILLA 1	15	7,0	105	3,15
BOMBILLA 2	15	7,0	105	3,15
BOMBILLA 3	15	7,0	105	3,15
BOMBILLA 4	15	7,0	105	3,15
BOMBILLA 5	15	7,0	105	3,15
TV	140	4,5	630	18,9
NEVERA	100	8,0	800	24,00
LICUADORA	200	0,2	40	1,20
CARGADOR CELULAR	5	1,0	5	0,15
OTROS	50	1,5	75	2,25
TOTAL	570	50,2	2075	62,25

En la Tabla 8 se muestra el resumen del escenario 2 donde se contempla un consumo básico por hogar más la inclusión de refrigeración.

Se usó la Ecuación 1 y se generó una curva de demanda diaria para el sistema y el resultado es el siguiente:

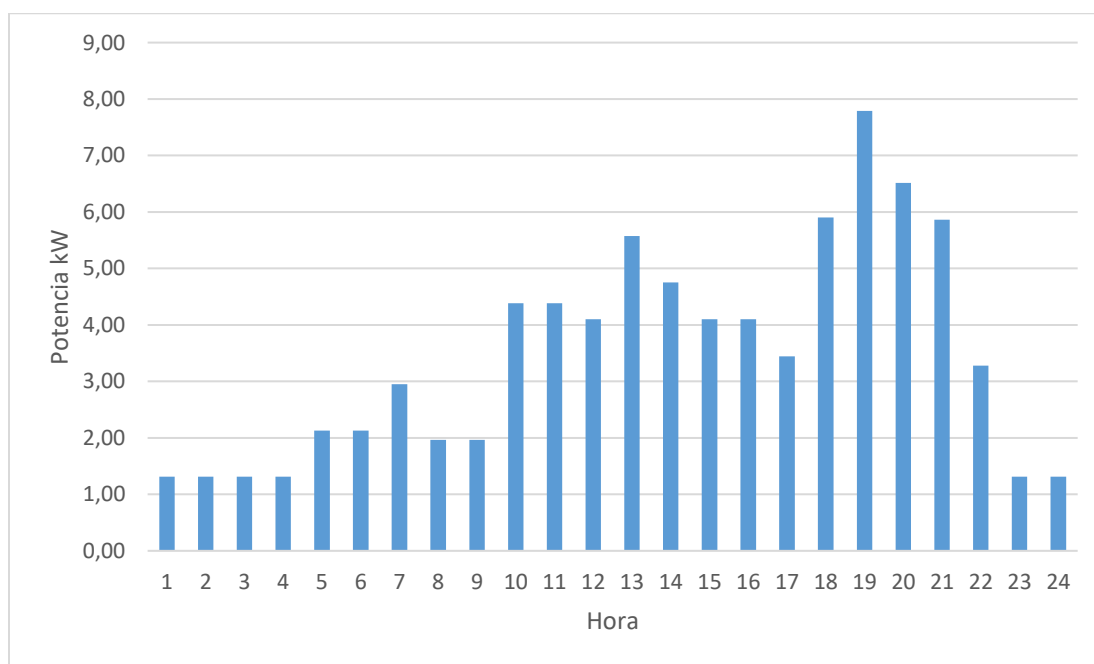


Figura 13. Perfil de consumo básico más refrigeración 62.25 kWh/mes.

De la Figura 13 se observa que el pico de consumo se presenta a las 19:00 horas y tiene un valor de 7.79 kWh. Para esta configuración la potencia instalada se define de 12 kVA con un FP de 0.85 y una proyección de expansión del 20%.

1.4.3 Escenario 3 consumo básico más refrigeración y ventilación

En este último caso se contempla el consumo básico por vivienda más el consumo por ventilación y refrigeración, dando como resultado 91.05 kWh/mes como consumo energético del sistema.

La Tabla 9 muestra el resumen de consumos energéticos.

Tabla 9. Resumen escenario 3: consumo básico, refrigeración y ventilación

ELEMENTOS CONECTADOS	POTENCIA EN W	HORAS DE USO AL DIA	CONSUMO AL DIA Wh/día	CONSUMO AL MES kWh/mes
BOMBILLA 1	15	7,0	105	3,15
BOMBILLA 2	15	7,0	105	3,15
BOMBILLA 3	15	7,0	105	3,15
BOMBILLA 4	15	7,0	105	3,15
BOMBILLA 5	15	7,0	105	3,15
TV	140	4,5	630	18,9
NEVERA	100	8,0	800	24,00
VENTILADORES	120	8,0	960	28,80
LICUADORA	200	0,2	40	1,20
CARGADOR CELULAR	5	1,0	5	0,15
OTROS	50	1,5	75	2,25
TOTAL	690	58,2	3035	91,05

La curva diaria de demanda del sistema está definida de manera similar a los dos casos anteriores. La potencia instalada se establece en 14 kVA, suponiendo un FP=0.85 y un factor de expansión del 20%.

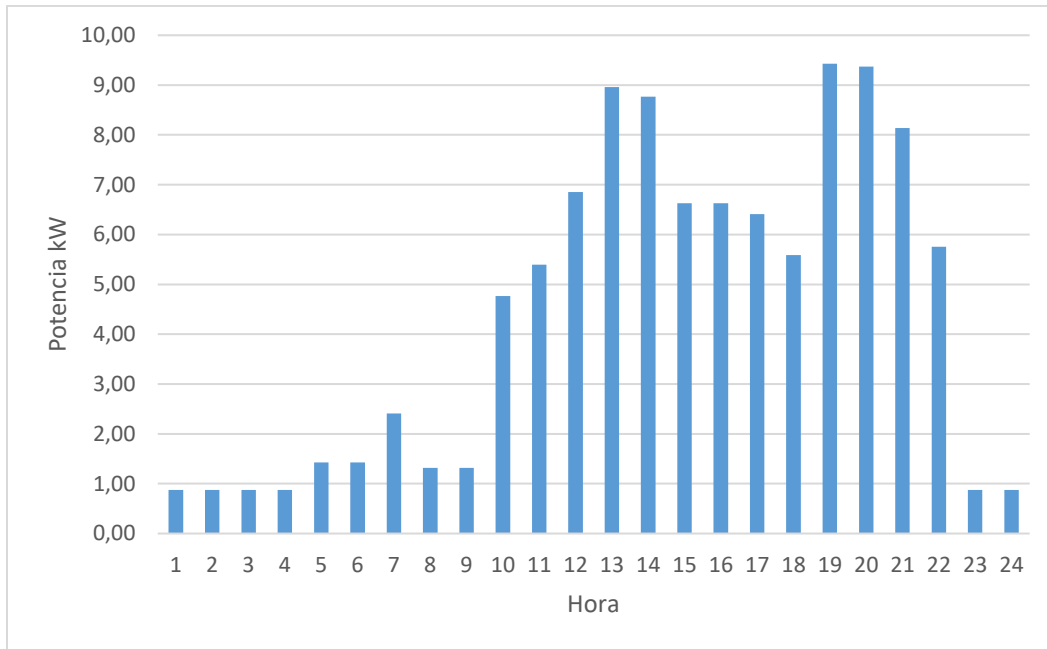


Figura 14. Perfil de consumo básico más refrigeración y ventilación.

Se tiene un pico de consumo de 9.43 kWh que se presenta a las 19:00 horas.

2. SIMULACIONES DE LOS SISTEMAS

En el punto anterior se determinaron las curvas de demanda para los distintos casos, con base en esa información se realizan las simulaciones con el software HOMER. El programa permite modelar diferentes tipos de soluciones como son:

- Configuración del sistema con energía 100% renovable.
- Configuración del sistema con energía híbrida
- Configuración del sistema con energía proveniente de generadores diésel

En este caso se evalúan las soluciones de energía renovable 100% y de energía híbrida (diésel + renovable).

Los costos de paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, baterías, inversores y generador diésel se tomaron como referencia del estudio realizado en el departamento de La Guajira⁸ y de un trabajo de grado⁹.

2.1 MODELAMIENTO DE LOS EQUIPOS

2.1.1 Modelado paneles fotovoltaicos

El programa permite seleccionar la solución dentro de dos alternativas, panel fotovoltaico genérico y fotovoltaico concentrado. Se toma la segunda opción porque son paneles conocidos y probados en la industria¹⁰. Se selecciona el fabricante TrinaSolar usando el modelo PEG14. El costo unitario del panel es de USD 611/kW, incluye instalación y montaje del panel. El valor de reemplazo de un panel es de USD 366.6, los costos de mantenimiento de USD 6.11/año y la vida útil de 25 años.

⁸ Estructuración técnica y financiera de la zona 1 Guajira., Op. Cit.

⁹ García Pérez, Andrés Felipe, "Planeamiento de un piloto de microrred aislada para una zona con potencial energético mediante Fncr. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electricista. Universidad Industrial de Santander. 2019

¹⁰ Ibid. p. 50.

Add/Remove Trina Duomax PEG14

PV  Name: Trina Duomax PEG14 Abbreviation: TrinDuc Remove Copy To Library

Properties
Name: **Trina Duomax PEG14**
Abbreviation: **TrinDuo14**
Panel Type: **Flat plate**
Rated Capacity (kW): **0.320**
Temperature Coefficient: **-0.410**
Operating Temperature (°C): **44.00**
Efficiency (%): **16.30**
Manufacturer: **Trina Solar**
[Data Sheet for DuoMax PEG14](#)
Notes:
Relevant for residential-scale,

Cost

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
0.325	611.00	367.00	6.11

Lifetime
time (years): 25.00 More...

Site Specific Input
Derating Factor (%): 88.00

Sizing
☒ HOMER Optimizer™
☐ Search Space
☐ Advanced

Electrical Bus
☐ AC ☒ DC

Figura 15. Modelamiento panel fotovoltaico

2.1.2 Aerogeneradores

El generador eólico seleccionado es el modelo Bergey Excel 6 del fabricante BeergeyWindPower, se seleccionó este tipo de generador porque sus prestaciones son adecuadas para la velocidad promedio de la zona¹¹. Su costo de inversión es de USD 15600, los costos de mantenimiento y operación son de USD 312 por año y tiene una vida útil de 25 años.

Add/Remove Bergey Excel 6

WIND TURBINE  Name: Bergey Excel 6 Abbreviation: XL6 Remove Copy To Library

Properties
Name: **Bergey Excel 6**
Abbreviation: **XL6**
Rated Capacity (kW): **6**
Manufacturer: **Bergey Windpower**

Costs

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	\$15,600.00	\$15,000.00	\$312.00

Click here to add new item
Multiplier:

Site Specific Input
Lifetime (years): 25.00 Hub Height (m): 30.00
☐ Consider ambient temperature effects?

Quantity Optimization
☐ HOMER Optimizer™
☒ Search Space

Quantity
0
1

Electrical Bus
☒ AC ☐ DC

Figura 16. Modelamiento generador eólico

2.1.3 Baterías

El modelo de baterías empelado en la simulación es el H300 del fabricante HOPPECKE¹². Los costos de inversión de las baterías son de USD 2171, los costos

¹¹ Ibid. p. 51.

¹² Mamaghani A., Avellas S., Najafi B., Shirazi A., and Rinakli F., "Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia". Vol 97, 2016.

de mantenimiento y operativos son de USD 217 por año, los costos de reposición son de USD 1953.

Add/Remove Hoppecke 16 OPzS 2000

STORAGE  Name: Hoppecke 16 OPzS 2000 Abbreviation: H2000 Remove Copy To Library

Properties

Kinetic Battery Model

Nominal Voltage (V): 2

Nominal Capacity (kWh): 4.76

Maximum Capacity (Ah): 2.38E+03

Capacity Ratio: 0.319

Rate Constant (1/hr): 1.22

Roundtrip efficiency (%): 86

Maximum Charge Current (A): 406

Maximum Discharge Current (A): 406

Maximum Charge Rate (A/Ah): 1

Cost

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
12	1,200.00	1,000.00	120.00

Lifetime

time (years): 10.00  

throughput (kWh): 6,737.40  

More...

Sizing

☒ HOMER Optimizer™

☐ Search Space

☐ Advanced

Site Specific Input

String Size: 1 Voltage: 2.0000000000000000 V

Initial State of Charge (%): 100.00  

Minimum State of Charge (%): 30.00  

Figura 17. Modelo de batería usado en la simulación del sistema

2.1.4 Inversor

Se toma un equipo genérico de la marca Schneider, modelo Schneider Conext XW+5548. Las características del equipo son similares al modelo mostrado en el trabajo de grado¹³ su capacidad nominal es de 1 kW. El precio de compra y reemplazo es de USD 2000, los costos de mantenimiento se establecen por valor de USD 50 por año.

CONVERTER  System Converter Complete Catalog Name: System Converter Abbreviation: Convert Remove Copy To Library

Properties

Name: System Converter

Abbreviation: Converter

www.homerenergy.com

Notes:

This is a generic system converter.

Costs

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	\$2,000.00	\$2,000.00	\$50.00

Click here to add new item

Multiplier:  

Capacity Optimization

☒ HOMER Optimizer™

☐ Search Space

☐ Advanced

Generic

homerenergy.com



Inverter Input

Lifetime (years): 15.00  

Efficiency (%): 95.00  

☒ Parallel with AC generator?

Rectifier Input

Relative Capacity (%): 100.00  

Efficiency (%): 95.00  

Figura 18. Modelo de inversor empleado en la simulación

¹³ García Pérez, Andrés Felipe. Op. Cit. p.52.

2.1.5 Generador diésel

La librería del simulador HOMER permite seleccionar una amplia variedad de generadores, esto debido a las diversas propuestas de los fabricantes para atender una determinada demanda dentro de un sistema de generación de energía híbrido.

Se se selecciona un tipo de generador denominado “autosize”, el cual se ajusta automáticamente a medida que el programa itera la simulación y optimiza la solución. El valor del galón de ACPM en La Guajira según datos del Ministerio de Minas y Energía es de COP\$6200, luego con una TRM de 1USD =COP3400 el precio del litro de ACPM es de USD 0.48.

El costo inicial de inversión es de USD 1468 de operación y mantenimiento es de USD 0.050/h por hora¹⁴.

The screenshot displays the HOMER software interface for configuring a generator. The 'Autosize Genset' tab is active. The 'Generator' section shows the name 'Autosize Genset' and abbreviation 'Gen'. The 'Properties' section lists fuel as 'Diesel', fuel curve intercept as 0.252 L/hr, and fuel curve slope as 0.236 L/hr/kW. The 'Generator Cost' section shows initial capital, replacement, O&M, and fuel price. The 'Optimization' section has options to simulate systems with and without the generator. The 'Electrical Bus' section has radio buttons for AC and DC. The 'Site Specific' section includes minimum load ratio, CHP heat recovery ratio, lifetime, and minimum runtime.

Figura 19. Modelo de generador diésel seleccionado en HOMER

La configuración de la red a simular es la siguiente:

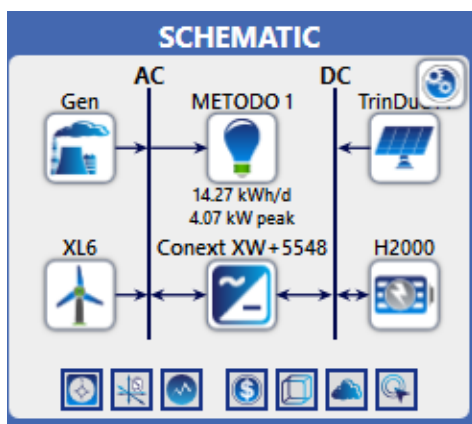


Figura 20. Modelo de sistema para simulación en HOMER

¹⁴ Estructuración técnica y financiera de la zona 1 Guajira., Op. Cit. p. 26.

Se tiene un generador diésel genérico a la entrada en paralelo con el generador eólico. En medio de la Figura 20 se muestra la carga y el convertidor, finalmente a la derecha de la imagen están los paneles fotovoltaicos y las baterías.

2.2 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Los escenarios evaluados fueron los siguientes

Escenario	Consumo
1	38.25 kWh/mes
2	62.25 kWh/mes
3	91.05 kWh/mes

2.2.1 Valores de generación

Se simularon los tres casos definidos en el numeral 1.4.1. Las soluciones óptimas se muestran a continuación:

Tabla 10. Valores de generación en kW.

Escenario	Generación solar kW	Generación eólica kW	Generación diésel	Número de baterías	Capacidad inversor kW
1	3,20	0	4,5	7	1,42
2	3,27	0	2,7	7	1,6
3	3,4	0	2,4	7	2,36

De la Tabla 10 se observa que, para los tres casos, los costos de generación óptimos no incluyen la generación de tipo eólica, el sistema es óptimo con generación diésel y solar únicamente.

2.2.2 Costos económicos

Para la conversión de moneda se tomó una tasa de cambio equivalente de 1 USD = COP 3400.

Los costos totales del proyecto se muestran en la Figura 21. Se tiene que para el escenario 3 de consumo, el proyecto tiene un valor total de alrededor de 85.5 millones de pesos, siendo este el menor valor.

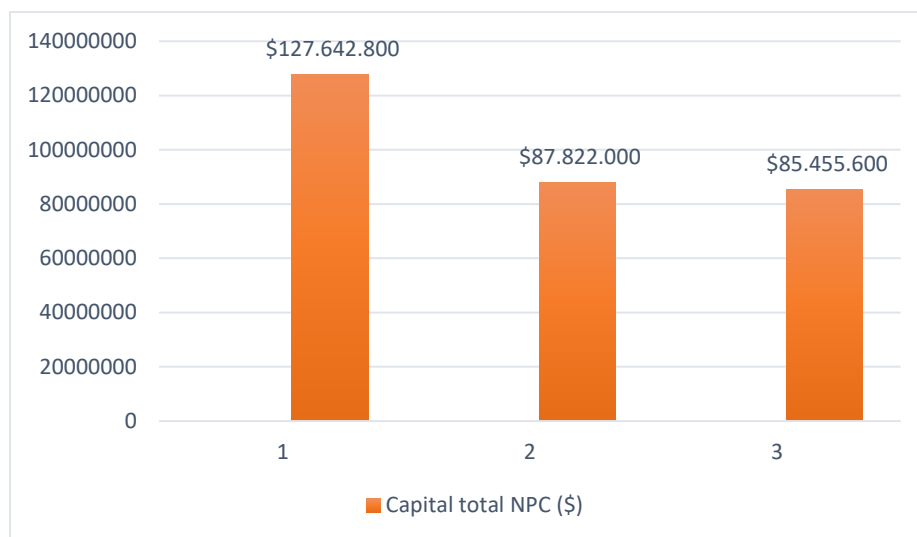


Figura 21. Costos totales del sistema

En cuanto a los costos del kWh por usuario se tiene que el menor valor se presenta nuevamente en el escenario 3. Este valor es de 1269 COP por kWh, siendo el menor de los 3 casos analizados.

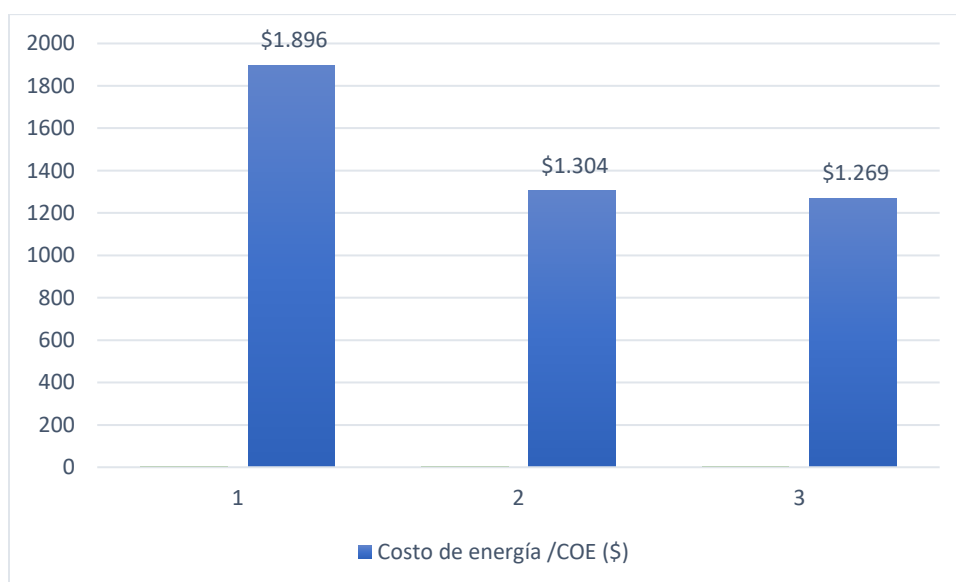


Figura 22. Valor del kWh en COP

Al evaluar los costos anuales de operación y mantenimiento se tiene que los valores para los escenarios 2 y 3 son muy similares, siendo este último caso el que representa menores costos, por un valor anual de 2'869,732 COP.

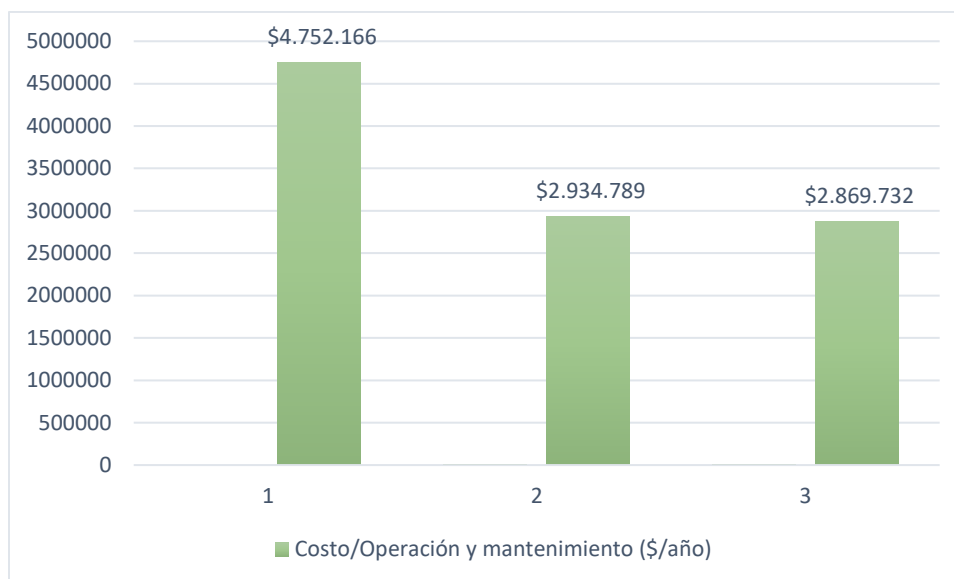


Figura 23. Costos de operación y mantenimiento

2.2.3 Generación de dióxido y monóxido de carbono

En la Tabla 11 se muestran los valores de dióxido y monóxido de carbono generado por el sistema en cada uno de los escenarios planteados.

Para la opción 3 se tiene un impacto menor al ambiente, ya que la generación a partir de combustible diésel es menor.

Tabla 11 Generación anual de dióxido de carbono

Escenario	Dióxido de Carbono kg/año	Monóxido de carbono kg/año
1	596	3.75
2	260	1.64
3	242	1.34

3. CONCLUSIONES

El municipio de Uribía, departamento de la Guajira, presenta una disponibilidad alta para generar energía a través de paneles fotovoltaicos y generadores eólicos, su ubicación geográfica potencia estos recursos renovables.

Las encuestas socioeconómicas y del uso de la energía en los hogares son una herramienta eficaz para caracterizar el consumo de energía de una población, posteriormente permiten establecer curvas de demanda.

El evaluar distintos escenarios de consumo básico y con aumento de la demanda de energía permite conocer que solución de microrred podría resultar más conveniente desde el punto de vista económico.

Al comparar los tres casos de consumo por medio del software HOMER se encontró que a mayor demanda de energía los costos totales de la implementación de la microrred disminuyen, de la misma manera disminuye el costo del kWh, esto es porque el valor del AOM disminuye.

Para el número de hogares y las características de consumo, al simular en el software se encontró que la solución más económica no contempla uso de energía eólica, esto es porque los costos operacionales y de reemplazo de un generador eólico son más altos que los estipulados para paneles fotovoltaicos.

Adicionalmente se debería realizar un dimensionamiento de la red de distribución y su respectiva evaluación económica, para encontrar los costos totales de la implementación de un sistema aislado de alimentación de energía.

BIBLIOGRAFÍA

GARCÍA PÉREZ, ANDRÉS FELIPE, “Planeamiento de un piloto de microrred aislada para una zona con potencial energético mediante Fncer. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electricista. Universidad Industrial de Santander. 2019.

GARZÓN HIDALGO J. D, SAAVEDRA MONTES A. J, “Una metodología de diseño de microrredes para zonas no interconectadas de Colombia”, TecnoLógicas, vol.20, No.39, mayo-agosto, 2017.

IDEAM Mapa interactivo de radiación solar en Colombia, en internet: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

IDEAM Mapa interactivo de viento en Colombia, en internet: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>

MAMAGHANI A., AVELLAS S., Najafi B., Shirazi A., and Rinakli F., “Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia”. Vol 97, 2016

TRUJILLO RODRÍGUEZ, CÉSAR LEONARDO et al., Microrredes Eléctricas. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá 2015.

UPME “Caracterización de la oferta y la demanda de la zona 1 Guajira” Esquemas empresariales en zonas no interconectadas y selección de inversionistas Guajira, Norte del Chocó, Urabá Antioqueño y Tierralta Córdoba. Unión Temporal Incorbank/PravneConsultingGroup S.A.S, Bogotá, Julio de 2016.

UPME “Conformación del área de servicio exclusiva ase de la zona 1 Guajira” Esquemas empresariales en zonas no interconectadas y selección de inversionistas Guajira, Norte del Chocó, Urabá Antioqueño y Tierralta Córdoba. Unión Temporal Incorbank/PravneConsultingGroup S.A.S, Bogotá, Julio de 2016.

UPME “Estructuración técnica y financiera de la zona 1 Guajira”. Esquemas empresariales en zonas no interconectadas y selección de inversionistas Guajira, Norte del Chocó, Urabá Antioqueño y Tierralta Córdoba. Unión Temporal Incorbank/PravneConsultingGroup S.A.S, Bogotá, Julio de 2016.

UPME Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica PIEC 2016-2020. UPME 10 11-2016.