

Propuesta de solución al suministro de energía eléctrica para la comunidad indígena U'wa en  
el departamento de Boyacá

Juan Carlos Núñez Ronderos, Sergio Alexander Sarmiento Rodríguez

Trabajo de grado para optar por el título de Ingenieros Electricistas

Director

Javier Enrique Solano Martínez

Phd. en Ingeniería Eléctrica



Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Comunicaciones

Bucaramanga

2019

**Tabla de contenido**

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción .....                                                                                              | 11 |
| 1. Objetivos .....                                                                                              | 15 |
| 1.1. Objetivo general.....                                                                                      | 15 |
| 1.2. Objetivos específicos .....                                                                                | 15 |
| 2. Generalidades del proyecto .....                                                                             | 16 |
| 2.1. Estudio socioeconómico de la población .....                                                               | 16 |
| 2.1.1. Datos Generales de la comunidad indígena U'wa. ....                                                      | 18 |
| 2.2. Antecedentes .....                                                                                         | 20 |
| 3. Estimación de la demanda horaria .....                                                                       | 21 |
| 3.1. Descripción de la curva de la demanda de lunes a viernes. ....                                             | 26 |
| 3.2. Descripción de la curva de demanda de sábados y domingos. ....                                             | 28 |
| 3.3. Descripción de la curva de demanda de cargas prioritarias (neveras y bombillos). ....                      | 30 |
| 3.4. Descripción de la curva de demanda de cargas prioritarias (neveras y bombillos y equipos de cómputo). .... | 31 |
| 4. Estimación del potencial energético en la región donde está ubicada la comunidad U'WA. ....                  | 33 |
| 4.1. Procedimiento inicial. ....                                                                                | 33 |
| 4.2. Recurso solar. ....                                                                                        | 34 |
| 5. Metodología para la selección del sistema energético .....                                                   | 38 |
| 5.1. Simulación. ....                                                                                           | 39 |
| 5.2. Parámetros de entrada. ....                                                                                | 41 |
| 5.2.1. Curva de demanda del sistema .....                                                                       | 41 |
| 5.2.2. Recursos renovables.....                                                                                 | 41 |
| 5.2.3. Componentes del sistema.....                                                                             | 42 |
| 5.2.4. Otros parámetros.....                                                                                    | 44 |
| 5.3. Selección del sistema energético óptimo.....                                                               | 45 |
| 5.4. Costos por instalación. ....                                                                               | 50 |
| 5.5. Optimización del sistema seleccionado .....                                                                | 52 |
| 6. Conclusiones.....                                                                                            | 54 |
| Bibliografía .....                                                                                              | 55 |

### Lista de figuras

|                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Mapa de Boyacá y ubicación del municipio de Cubará. ....                                                                                                      | 17 |
| Figura 2. Ubicación de la comunidad indígena U'wa en el municipio de Cubara (dentro del recuadro se observa el actual resguardo unido U'wa, 220.275 hectáreas). ....    | 17 |
| Figura 3. Escuela El Chuscal. ....                                                                                                                                      | 19 |
| Figura 4. Edificio destinado al hospedaje de profesores y personal ajeno a la comunidad perteneciente a la nómina de la escuela El Chuscal.....                         | 19 |
| Figura 5. Internado El Chuscal. ....                                                                                                                                    | 19 |
| Figura 6. Auditorio el Chuscal.....                                                                                                                                     | 19 |
| Figura 7. Evidencia de reunión con el representante de la comunidad U'wa. ....                                                                                          | 19 |
| Figura 8. Evidencia de la visita a la escuela internado el Chuscal. De izquierda a derecha. Juan Nuñez (autor del proyecto), Sergio Sarmiento (autor del proyecto)..... | 19 |
| Figura 9. Curva de demanda horaria de lunes a viernes. ....                                                                                                             | 28 |
| Figura 10. Curva de demanda sábados y domingos.....                                                                                                                     | 29 |
| Figura 11. Curva de demanda cargas prioritarias. ....                                                                                                                   | 31 |
| Figura 12. Curva de demanda cargas prioritarias con equipos de cómputo. ....                                                                                            | 33 |
| Figura 13. Mapa de radiación solar en Colombia. (Atlas IDEAM, s.f.).....                                                                                                | 34 |
| Figura 14. Distribución del brillo solar medio diario (horas de sol al día) en Colombia. (Atlas IDEAM, s.f.) .....                                                      | 35 |
| Figura 15. Gráfica radiación solar máxima diaria por mes en el municipio de Cubara. ....                                                                                | 36 |
| Figura 16. Gráfica radiación solar mínima diaria por mes en el municipio de Cubara. ....                                                                                | 36 |

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 17. Comparación de la radiación solar diaria por mes. ....                     | 37 |
| Figura 18. Promedio de radiación solar diaria por mes en el municipio de Cubará. .... | 38 |
| Figura 19. Diagrama de bloques del sistema energético para el proyecto.....           | 41 |
| Figura 20. Grafica de excesos de energía durante la vida útil de los sistemas. ....   | 47 |
| Figura 21. Grafica de la carga no atendida durante la vida útil de los sistemas. .... | 48 |
| Figura 22. Configuración del escenario seleccionado. (HOMER PRO, s.f.).....           | 48 |
| Figura 23. Grafica del comportamiento del sistema en un día. ....                     | 49 |
| Figura 24. Grafica de la generación anual durante la vida útil del sistema. ....      | 50 |
| Figura 25. Grafica de resumen de costos. ....                                         | 51 |
| Figura 26. Grafica de resumen de costos comparativa. ....                             | 53 |

**Lista de tablas**

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Población de la comunidad U'wa. ....                                                                 | 16 |
| Tabla 2. Inventario de cargas de los dormitorios del internado El Chuscal. ....                               | 22 |
| Tabla 3. Inventario de cargas de la cocina del internado El Chuscal. ....                                     | 23 |
| Tabla 4. Inventario de cargas del comedor y secretaria del internado El Chuscal. ....                         | 23 |
| Tabla 5. Inventario de cargas de la iglesia, baños y lavadero, y tienda de ropa del internado El Chuscal..... | 24 |
| Tabla 6. Inventario de cargas de la escuela y la sala de informática del internado El Chuscal...              | 24 |
| Tabla 7. Inventario de cargas del centro de salud del internado El Chuscal. ....                              | 25 |
| Tabla 8. Estimación de la demanda de lunes a viernes. ....                                                    | 26 |
| Tabla 9. Estimación de la demanda de sábados y domingos. ....                                                 | 28 |
| Tabla 10. Estimación de la demanda de cargas prioritarias (Neveras y bombillos). ....                         | 30 |
| Tabla 11. Estimación de la demanda de cargas prioritarias (neveras, bombillos y equipos de cómputo) .....     | 32 |
| Tabla 12. Especificaciones de los paneles fotovoltaicos. ....                                                 | 42 |
| Tabla 13. Especificaciones de las baterías. ....                                                              | 43 |
| Tabla 14. Especificaciones del inversor.....                                                                  | 44 |
| Tabla 15. Resultados simulaciones HOMER Pro®.....                                                             | 45 |
| Tabla 16. Resultados económicos de las simulaciones en HOMER Pro. ....                                        | 46 |
| Tabla 17. Especificaciones de los componentes del sistema seleccionado. ....                                  | 50 |
| Tabla 18. Especificaciones de los costos durante la vida útil del sistema seleccionado. ....                  | 51 |
| Tabla 19. Especificaciones de las nuevas baterías seleccionadas.....                                          | 52 |

Tabla 20. Especificaciones de los componentes de la optimización del sistema seleccionado... 53

**Lista de apéndices**

**(Ver apéndice adjunto en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)**

Apéndice A. Proyectos implementados en Colombia según la IPSE.

## Resumen

**Título:** Propuesta de solución al suministro de energía eléctrica para la comunidad indígena U'wa en el departamento de Boyacá\*

**Autores:** Juan Carlos Núñez Ronderos, Sergio Alexander Sarmiento Rodríguez\*\*

**Palabras clave:** U'wa. Homer pro. Recurso solar. Estimación de la demanda. Indígena. Zonas no interconectadas. IDEAM. NASA. IPSE.

**Descripción:** La mayoría de las comunidades indígenas en Colombia habitan en zonas no interconectadas, por lo tanto, proyectos como el planteado, generan un impacto positivo para el crecimiento y desarrollo del país. En este proyecto se propone una solución al suministro de energía eléctrica para una zona específica de la comunidad indígena U'wa, ubicada en el departamento de Boyacá. Por medio de una visita al interior de la comunidad asentada en el municipio de Cubará dirigida por el egresado UIS Juan Gabriel Jerez Tegria (Representante de la comunidad), se exploraron diferentes zonas de la comunidad, con el fin de identificar la zona de mayor concentración poblacional. Se recopiló información para la caracterización de la carga, lo que permitió la estimación de la demanda a partir de un método no convencional, el cual consiste en identificar las necesidades energéticas particulares del usuario, obteniendo con todo esto, las curvas de demanda. Se identifica el potencial energético de la zona con la ayuda de la base de datos del IDEAM y de la NASA, después de esto y con la ayuda del software HOMER PRO® (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources) se obtuvo la propuesta de solución al suministro energía de eléctrica para la comunidad indígena U'wa.

---

\* Trabajo de grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de las Telecomunicaciones. Director: Javier Enrique Solano Martínez, Doctorado en Ingeniería Eléctrica.



### Abstract

**Title:** Proposed solution to the supply of electric power for the U'wa indigenous community in the department of Boyacá\*

**Authors:** Juan Carlos Núñez Ronderos, Sergio Alexander Sarmiento Rodríguez\*\*

**Keywords:** U'wa. Homer pro. Solar resource. Demand estimate. Indigenous. Areas not interconnected. IDEAM. NASA. IPSE.

**Description:** The most of the indigenous communities in Colombia live in non-interconnected areas, therefore, projects like this one, generate a positive impact for the growth and development of the country. This project proposes a solution to the supply of electricity for a specific area of the U'wa indigenous community, located in the department of Boyacá. Juan Gabriel Jerez Tegría (Community's Representative), different areas of the community were explored, in order to identify the area of greatest concentration. population Information was collected for the characterization of the load, which refers to the frequency of the demand from an unconventional method, which consists of identifying the user's particular energy needs, obtaining with all this, the curves of the demand. The area's energy potential is identified with the help of the IDEAM and NASA database, after this and with the help of the HOMER PRO® software (hybrid optimization model for multiple energy resources) the proposal was obtained of electricity supply solution for the U'wa indigenous community.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Engineering Electric, Electronic and Telecommunications' School.  
Director: Javier Enrique Solano Martínez, Phd. Electric Engineering

## **Introducción**

Este trabajo busca proponer una solución energética para mejorar las condiciones de vida de una comunidad indígena colombiana. Para lograrlo, se tuvo en cuenta los requerimientos de la convocatoria lanzada por COLCIENCIAS llamada IDEAS PARA EL CAMBIO CIENCIA Y TIC PARA LA PAZ, en el año 2017, en donde se muestra una problemática similar a la que se trabaja en este proyecto. Basado en esto, se decide aplicar el estudio a la comunidad indígena U'wa, ubicada en el municipio de Cubará en el departamento de Boyacá.

La comunidad indígena U'wa se encuentra ubicada en los departamentos de Norte de Santander, Arauca, Boyacá y Casanare, pero la mayor parte de la comunidad ocupa el municipio de Cubará, Boyacá, en donde vive más de la mitad de la población.

Durante una visita realizada por invitación del abogado Juan Gabriel Jerez Tegria, un egresado de la Universidad Industrial de Santander, miembro y referente de la comunidad U'wa, se tuvo la oportunidad de observar las condiciones actuales de la comunidad en cuanto al suministro de energía eléctrica y se pudo percibir que el operador de red (EBSA) suministra energía a una parte de la comunidad, esta red eléctrica según los habitantes presenta frecuentes y largas interrupciones.

El trabajo se presenta en seis capítulos. En el primer capítulo se presentan el objetivo general y los objetivos específicos, en el capítulo dos se determina la comunidad en estudio, se muestran algunos antecedentes de trabajos similares y se exponen las necesidades energéticas de la comunidad. En el capítulo tres se presenta la metodología para realizar las curvas de demanda

horaria a partir de los datos recolectados y en el capítulo cuatro se realiza la estimación del potencial energético de la zona.

El capítulo cinco se enfoca en el dimensionamiento del sistema mediante el software HOMER Pro<sup>®</sup>. En el capítulo seis se presentan las conclusiones.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Proponer una solución para el suministro de energía eléctrica a una zona específica de la comunidad indígena U'WA. Se realizará con base en los requerimientos científicos, técnicos y económicos establecidos en la convocatoria 790 de Colciencias “Ideas por el cambio Ciencia y TIC para la paz”. La solución se planteará de tal forma que se pueda replicar posteriormente en otros contextos semejantes.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar la zona de la comunidad indígena U'WA y el potencial energético de la zona.
- Definir una solución global al problema de energización de la comunidad.
- Identificar soluciones comerciales para la generación, almacenamiento y consumo de energía Eléctrica en zonas no interconectadas.
- Proponer una solución para el suministro, almacenamiento y consumo de energía eléctrica.

## 2. Generalidades del proyecto

En este capítulo se presenta la caracterización de la comunidad en estudio y se exponen las necesidades energéticas reales de la misma, en la sección 2.1 se realiza el estudio socioeconómico de la población, la sección 2.2 muestra antecedentes de trabajos similares realizados en Colombia.

### 2.1 Estudio socioeconómico de la población

La comunidad indígena U'wa se encuentra ubicada en los departamentos de Norte de Santander, Arauca, Boyacá y Casanare, cerca de las laderas de la Sierra Nevada del Cocuy y la cordillera Oriental. Este territorio está limitado por los ríos Chitagá, Margua y Potoya.

En la Tabla 1 se presentan la cantidad de habitantes por departamento de la comunidad indígena U'wa. (MinCultura, 2013)

Tabla 1.  
*Población de la comunidad U'wa.*

| Departamento              | # de indígenas | Porcentaje de la población total [%] |
|---------------------------|----------------|--------------------------------------|
| <b>Boyacá</b>             | 4695           | 61,9                                 |
| <b>Arauca</b>             | 1000           | 13,2                                 |
| <b>Norte de Santander</b> | 871            | 11,5                                 |
| <b>Casanare</b>           | 1015           | 13,4                                 |

El municipio de Cubará, señalado en la Figura 1, se encuentra a 255 Km de Bucaramanga y a una altura desde los 300 hasta los 700 metros sobre el nivel del mar.

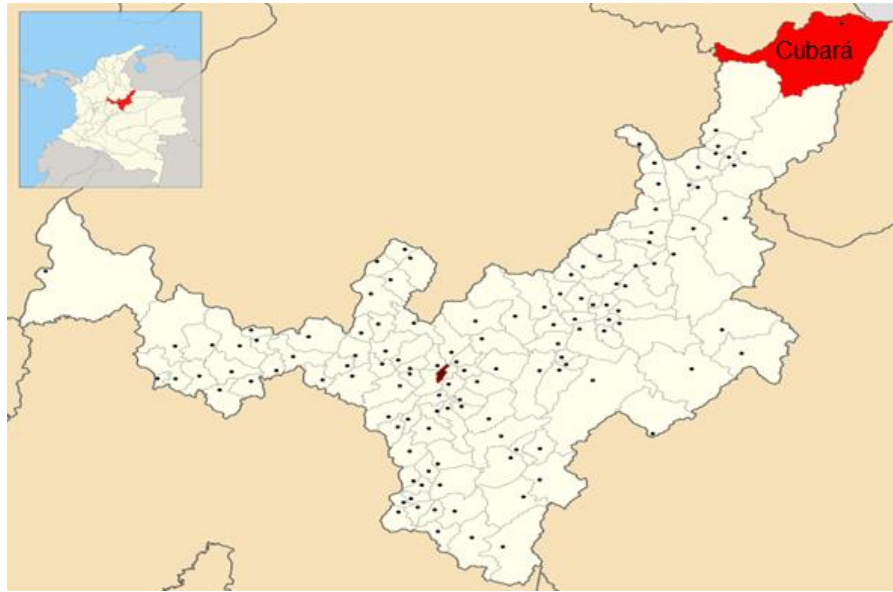


Figura 1. Mapa de Boyacá y ubicación del municipio de Cubará. Obtenido de Wikipedia, Shadowxfox. (10 de 11 de 2012). Colombia - Boyacá - Cubará, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia\\_-\\_Boyaca\\_-\\_Cubara.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Boyaca_-_Cubara.svg).

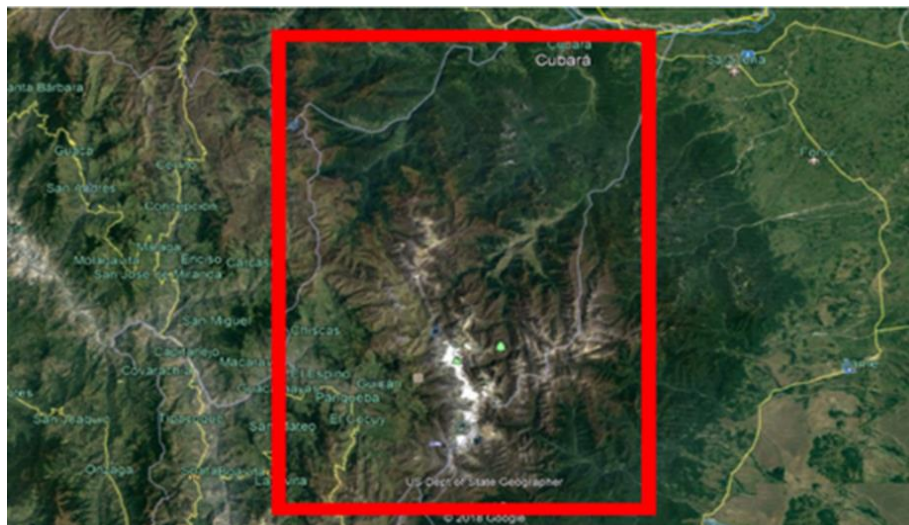


Figura 2. Ubicación de la comunidad indígena U'wa en el municipio de Cubara (dentro del recuadro se observa el actual resguardo unido U'wa, 220.275 hectáreas). Obtenido de Google Earth: (30 de Septiembre de 2018). Cubará, Boyacá. <https://earth.google.com/web/@7.00178,-108.18595,356.75458676a,2345.01122876d,35y,0h,0t,0r>

En la Figura 2 se observa la imagen satelital de las hectáreas en donde se ubica la comunidad de U'wa, dentro del municipio de Cubará.

**2.1.1 Datos Generales de la comunidad indígena U'wa.** Algunos de los datos sociodemográficos de las comunidades U'wa son los siguientes:

- Superficie: 1.650 km<sup>2</sup>.
- Población: 7.581 habitantes.
- Temperatura media: 22 y 28 °C
- Altitud: Entre 370 y 700 m.s.n.m.

De acuerdo con la información obtenida a partir de la visita realizada a la comunidad en estudio, en las escuelas y el centro de salud de la zona, ya existe un suministro de energía eléctrica por parte del operador de red local (EBSA), pero el sistema no es lo suficientemente estable, esto se puede evidenciar dadas las quejas de los usuarios, donde se manifiesta el cese del servicio por largos periodos de tiempo, que pueden ser desde unas horas hasta 15 días o más. En la actualidad la comunidad no cuenta con propuestas concretas que brinden una solución a esta problemática.

A continuación, se presenta la evidencia de la visita realizada a una zona de la comunidad indígena U'wa; en la Figura 3 se observa una vista general de la escuela y el internado El Chuscal, la figura 4 muestra el edificio destinado al hospedaje de algunos profesores que trabajan en la escuela , en la Figura 5 y 6 se puede ver la parte interna del internado y el auditorio respectivamente, la Figura 7 presenta una imagen de la reunión realizada con Juan Gabriel Jerez Tegria en la sede de la comunidad U'wa y finalmente la Figura 8 es una fotografía de los autores del proyecto en el patio principal de la escuela.



*Figura 3. Escuela El Chuscal.*



*Figura 4. Edificio destinado al hospedaje de profesores y personal ajeno a la comunidad perteneciente a la nómina de la escuela El Chuscal.*



*Figura 5. Internado El Chuscal.*



*Figura 6. Auditorio el Chuscal.*



*Figura 7. Evidencia de reunión con el representante de la comunidad U'wa. Nota: De izquierda a derecha. Juan Nuñez (autor del proyecto), Sergio Sarmiento (autor del proyecto), Juan Gabriel Jerez Tegria abogado y representante de la comunidad U'wa).*



*Figura 8. Evidencia de la visita a la escuela internado el Chuscal. De izquierda a derecha. Juan Nuñez (autor del proyecto), Sergio Sarmiento (autor del proyecto).*



## 2.2 Antecedentes

Para una mejor comprensión del por qué de este trabajo, presentamos una sección en donde se mencionan algunos datos de proyectos ejecutados en Colombia donde se utilizaron fuentes de energía no convencionales. En el ámbito nacional, nos encontramos con la existencia del Instituto para la Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas (IPSE).

Como se puede observar en la Apéndice A, en Colombia se han implementado diferentes proyectos utilizando sistemas de generación eléctrica con fuentes no convencionales de energía, en su gran mayoría energía solar, a continuación, se presentan los departamentos y algunas Zonas No Interconectadas acobijadas por el IPSE, que en la actualidad son beneficiados con la implementación de los sistemas de generación eléctrica en mención:

- a.** Putumayo: La capacidad instalada total de sistemas de generación solar es de 120 kW, para 3 comunidades rurales ubicadas entre los municipios de Puerto Asis y Orinto.
- b.** Nariño: La capacidad instalada total de sistemas de generación solar es de 70 kW, para 7 comunidades rurales ubicadas en el municipio de La Llamada.
- c.** Chocó: La capacidad instalada total de sistemas de generación solar es de 140 kW, para 15 comunidades rurales ubicadas en el municipio de Unguia.
- d.** Guaviare: Este departamento tiene la mayor capacidad instalada de sistemas de generación solar con una potencia de 350 kW, para 36 comunidades rurales y 12 resguardos indígenas, en su totalidad ubicadas en el municipio de Miraflores.

- e. Casanare: La capacidad instalada total de sistemas de generación solar es de 80 kW, para 22 comunidades rurales, también se instaló un sistema Híbrido (Diésel-Biomasa) compuesto por un generador diésel de 20 kW y un generador biomasa de 20 kW para una comunidad rural llamada Santa Barbara, todas ubicadas en el municipio de Hato Corozal.
- f. Guainía: En este departamento se instaló una microred (solar-diésel) compuesto por un sistema de generación solar con una capacidad instalada de 93 kW y un generador diésel de 200 kW, para un municipio llamado Barrancominas. (IPSE, s.f.)

### **3. Estimación de la demanda horaria**

Para poder realizar la propuesta de un sistema de generación de energía eléctrica se debe conocer la curva de demanda que se va a atender, ya que esta es la que representa el consumo que tiene la carga en función del tiempo. Para efectos de este proyecto se discutieron las necesidades energéticas con algunos líderes de la comunidad y teniendo en cuenta el extenso terreno que habita los U`wa, se tomó para el estudio una zona de la comunidad llamada el Chuscal.

En la sección 3.1 se realizan los cálculos de demanda de lunes a viernes días en los que la actividad de la zona es alta, la sección 3.2 corresponde a sábados y domingos en donde se presenta poca actividad en la zona , además, se elaboran curvas de demanda tomando solo cargas que se suponen prioritarias , esto con el fin de simular sistemas más pequeños y por tanto más económicos que suplan el requerimiento de los aparatos y bombillos que tienen una necesidad mayor, en la sección 3.3 y 3.4 se presentan los cálculos de la demanda tomando solo cargas prioritarias sin equipos de cómputo y cargas prioritarias con equipos de cómputo respectivamente.

A continuación, presenta la metodología para realizar la curva de demanda horaria a partir de los datos recolectados durante la visita realizada:

- a. Se organizan los datos obtenidos realizando un inventario de cargas según la Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6 y la Tabla 7.
- b. Se realiza una tabla en donde muestra la demanda para cada uno de los escenarios propuestos, en estas tablas, Se estimó que cargas se utilizaban aproximadamente en cada hora del día.
- c. Finalmente se realiza la curva con los datos dados en el numeral b.

Tabla 2.  
*Inventario de cargas de los dormitorios del internado El Chuscal.*

| <b>Cantidad</b>   | <b>Concepto</b>    | <b>Potencia Unitaria [W]</b> | <b>Potencia Total [W]</b> |
|-------------------|--------------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>Dormitorio</b> |                    |                              |                           |
| <b>60</b>         | Bombillos          | 7                            | 420                       |
| <b>1</b>          | Nevera Frost       | 249                          | 249                       |
| <b>1</b>          | Radio              | 15                           | 15                        |
| <b>1</b>          | Lavadora Whirlpool | 40                           | 40                        |

Tabla 3.

*Inventario de cargas de la cocina del internado El Chuscal.*

| <b>Cantidad</b> | <b>Concepto</b>         | <b>Potencia Unitaria [W]</b> | <b>Potencia Total [W]</b> |
|-----------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>Cocina</b>   |                         |                              |                           |
| <b>6</b>        | Bombillos               | 7                            | 42                        |
| <b>2</b>        | Nevera Electrolux       | 60                           | 120                       |
| <b>2</b>        | Refrigerador Electrolux | 30                           | 60                        |
| <b>3</b>        | Licadoras               | 450                          | 1350                      |

Tabla 4.

*Inventario de cargas del comedor y secretaria del internado El Chuscal.*

| <b>Cantidad</b>   | <b>Concepto</b>  | <b>Potencia Unitaria [W]</b> | <b>Potencia Total [W]</b> |
|-------------------|------------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>Comedor</b>    |                  |                              |                           |
| <b>4</b>          | Bombillos        | 7                            | 28                        |
| <b>Secretaria</b> |                  |                              |                           |
| <b>2</b>          | Bombillos        | 7                            | 14                        |
| <b>1</b>          | Impresora        | 30                           | 30                        |
| <b>1</b>          | Portátil         | 50                           | 50                        |
| <b>1</b>          | PC de escritorio | 120                          | 120                       |

Tabla 5.

*Inventario de cargas de la iglesia, baños y lavadero, y tienda de ropa del internado El Chuscal*

| <b>Cantidad</b>         | <b>Concepto</b>              | <b>Potencia Unitaria [W]</b> | <b>Potencia Total [W]</b> |
|-------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>Iglesia</b>          |                              |                              |                           |
| <b>8</b>                | Bombillos                    | 7                            | 56                        |
| <b>1</b>                | Equipo de sonido             | 300                          | 300                       |
| <b>1</b>                | Portátil                     | 50                           | 50                        |
| <b>Baños y Lavadero</b> |                              |                              |                           |
| <b>12</b>               | Bombillos                    | 7                            | 84                        |
| <b>Tienda de ropa</b>   |                              |                              |                           |
| <b>3</b>                | Bombillos                    | 7                            | 21                        |
| <b>3</b>                | Máquinas de coser eléctricas | 550                          | 1650                      |

Tabla 6.

*Inventario de cargas de la escuela y la sala de informática del internado El Chuscal*

| <b>Cantidad</b>            | <b>Concepto</b>    | <b>Potencia Unitaria [W]</b> | <b>Potencia Total [W]</b> |
|----------------------------|--------------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>Escuela</b>             |                    |                              |                           |
| <b>38</b>                  | Bombillos          | 7                            | 266                       |
| <b>6</b>                   | Portátil           | 50                           | 300                       |
| <b>Sala de informática</b> |                    |                              |                           |
| <b>2</b>                   | Bombillos          | 7                            | 14                        |
| <b>2</b>                   | TV                 | 236                          | 472                       |
| <b>1</b>                   | Aire acondicionado | 935                          | 935                       |
| <b>1</b>                   | Impresora escáner  | 40                           | 40                        |
| <b>10</b>                  | Portátil           | 50                           | 500                       |
| <b>1</b>                   | Modem de internet  | 5                            | 5                         |

Tabla 7.

*Inventario de cargas del centro de salud del internado El Chuscal.*

| <b>Cantidad</b>        | <b>Concepto</b> | <b>Potencia Unitaria [W]</b> | <b>Potencia Total [W]</b> |
|------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>Centro de salud</b> |                 |                              |                           |
| <b>30</b>              | Bombillos       | 7                            | 210                       |
| <b>3</b>               | Neveras         | 60                           | 180                       |
| <b>3</b>               | Portátil        | 50                           | 150                       |
| <b>N/A</b>             | Equipos médicos | 1500                         | 1500                      |

Las neveras según el etiquetado energético establecido en Colombia tienen un factor de utilización para horas de bajo consumo, es decir las horas en donde no se utilizan frecuentemente. En este caso el factor es del 80% de su potencia.

Para la descripción de la curva de la demanda de lunes a viernes, descripción de la curva de demanda de sábados y domingos, descripción de la curva de demanda de cargas prioritarias (refrigeración y bombillos) y la descripción de la curva de demanda de cargas prioritarias (refrigeración, bombillos y equipos de cómputo), se realizaron la Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10 respectivamente, en dichas tablas en los espacios donde aparece la letra X se indica las horas en las que la carga está en funcionamiento, así mismo, los cuadros que están en blanco indican que la carga se encuentra apagada o desconectada.

Para la estimación de la demanda de lunes a viernes se realizó la Tabla 8.

Tabla 8.  
*Estimación de la demanda de lunes a viernes.*

[illegible]

Continuación Tabla 8

| CUADRO DE CARGAS    |                    |                         |                      | HORA |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Cant.               | Concepto           | Potencia Unitaria [W/h] | Potencia Total [W/h] | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| SALA DE INFORMATICA |                    |                         |                      |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 2                   | Bombillos          | 7                       | 14                   |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    |    |    |
| 2                   | TV                 | 236                     | 472                  |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |
| 1                   | Aire acondicionado | 935                     | 935                  |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  |    | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |
| 1                   | Impresora escáner  | 40                      | 40                   |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    |    |    |
| 10                  | Portátil           | 50                      | 500                  |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |
| 1                   | Modem de internet  | 5                       | 5                    |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
| CENTRO DE SALUD     |                    |                         |                      |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 30                  | Bombillos          | 7                       | 210                  |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
| 3                   | Neveras            | 60                      | 180                  | X    | X | X | X | X | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
| 3                   | Portátil           | 50                      | 150                  |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  |    | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |
| N/A                 | Equipos médicos    | 1500                    | 1500                 |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |
| CASA DEL PROFESOR   |                    |                         |                      |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 4                   | Bombillos          | 7                       | 28                   |      |   |   | X | X | X | X |   |   |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |
| 1                   | PC de escritorio   | 120                     | 120                  |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    |    |    |
| 1                   | Celular            | 5                       | 5                    | X    | X | X |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  |    |
| 1                   | Nevera             | 30                      | 30                   | X    | X | X | X | X | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
| 1                   | TV                 | 236                     | 236                  |      |   |   | X | X | X | X |   |   |    |    | X  |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |
| 1                   | Lavadora           | 40                      | 40                   |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    |    |    |

Después de realizar la caracterización de la carga y los cálculos correspondientes de lunes a viernes tal y como se muestra en la Tabla 8, días de gran actividad en El Chuscal, se obtiene la curva de demanda presentada en la Figura 9 .



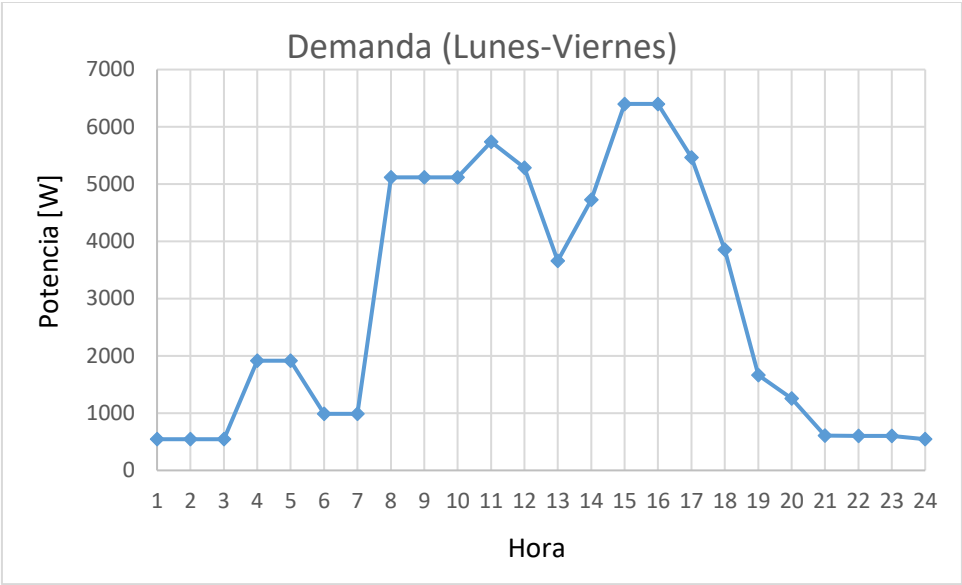


Figura 9. Curva de demanda horaria de lunes a viernes.

3.2 Descripción de la curva de demanda de sábados y domingos.

Para la estimación de la demanda de sábados y domingos se realizó la Tabla 9 .

Tabla 9.  
Estimación de la demanda de sábados y domingos.

| CUADRO DE CARGAS |                         |          |          | HORA |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------|-------------------------|----------|----------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Cant.            | Concepto                | Potencia | Potencia |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                  |                         | Unitaria | Total    | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|                  |                         | [W/h]    | [W/h]    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| DORMITORIO       |                         |          |          |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1                | Nevera Frost            | 249      | 249      | X    | X | X | X | X | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
| 1                | Radio                   | 15       | 15       |      |   |   |   |   |   | X | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |    | X  |    |    |    |    |    |
| 1                | Lavadora Whirlpool      | 40       | 40       |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| COMEDOR          |                         |          |          |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 4                | Bombillos               | 7        | 28       | X    | X | X | X | X | X | X |   |   | X  | X  |    |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    | X  |
| COCINA           |                         |          |          |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 6                | Bombillos               | 7        | 42       |      |   |   |   | X | X | X | X |   | X  | X  | X  |    |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |
| 2                | Nevera Electrolux       | 60       | 120      | X    | X | X | X | X | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
| 2                | Refrigerador Electrolux | 30       | 60       | X    | X | X | X | X | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
| 3                | Licadoras               | 450      | 1350     |      |   |   |   | X |   |   |   |   | X  |    |    |    |    |    |    | X  |    |    |    |    |    |    |    |

Continuación Tabla 9

| CUADRO DE CARGAS    |                   |          |          | HORA |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
|---------------------|-------------------|----------|----------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| Cant.               | Concepto          | Potencia | Potencia |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
|                     |                   | Unitaria | Total    | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |   |
|                     |                   | [W/h]    | [W/h]    |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| CASA DEL PROFESOR   |                   |          |          |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| 1                   | Celular           | 5        | 5        | X    | X | X | X | X | X |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X |
| 1                   | Nevera            | 30       | 30       | X    | X | X | X | X | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X |
| 1                   | TV                | 236      | 236      |      |   |   |   | X | X | X | X |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  |    |   |
| 1                   | Lavadora          | 40       | 40       |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| CENTRO DE SALUD     |                   |          |          |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| 30                  | Bombillos         | 7        | 210      |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |   |
| 3                   | Neveras           | 60       | 180      | X    | X | X | X | X | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |   |
| 3                   | Portátil          | 50       | 150      |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |   |
| N/A                 | Equipos médicos   | 1500     | 1500     |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |   |
| BAÑOS Y LAVADERO    |                   |          |          |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| 12                  | Bombillos         | 7        | 84       |      |   |   |   | X |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  |    |   |
| SALA DE INFORMATICA |                   |          |          |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
| 1                   | Modem de internet | 5        | 5        |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |   |

Después de realizar la caracterización de la carga y los cálculos correspondientes para los sábados y domingos, días de poca actividad en El Chuscal, se obtiene la curva de demanda presentada en la Figura 10.

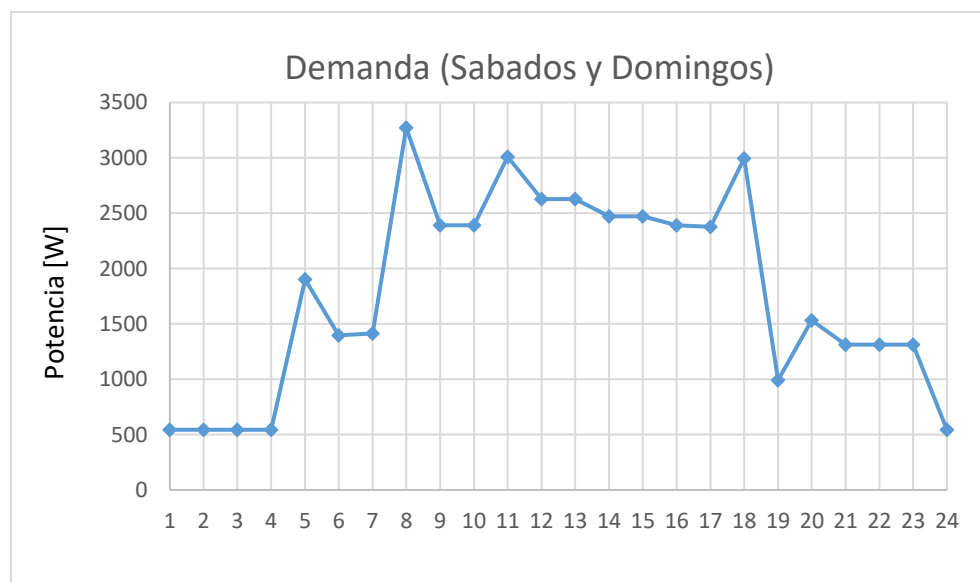


Figura 10. Curva de demanda sábados y domingos.

Para la estimación de la demanda de cargas que se consideran prioritarias para la comunidad según la información suministrada por la misma, se realizó la Tabla 10.

*Estimación de la demanda de cargas prioritarias (Neveras y bombillos).*

[illegible]

Después de realizar los cálculos correspondientes y la caracterización de las cargas que se suponen prioritarias para el Chuscal, se obtiene la curva de demanda presentada en la Figura 11.

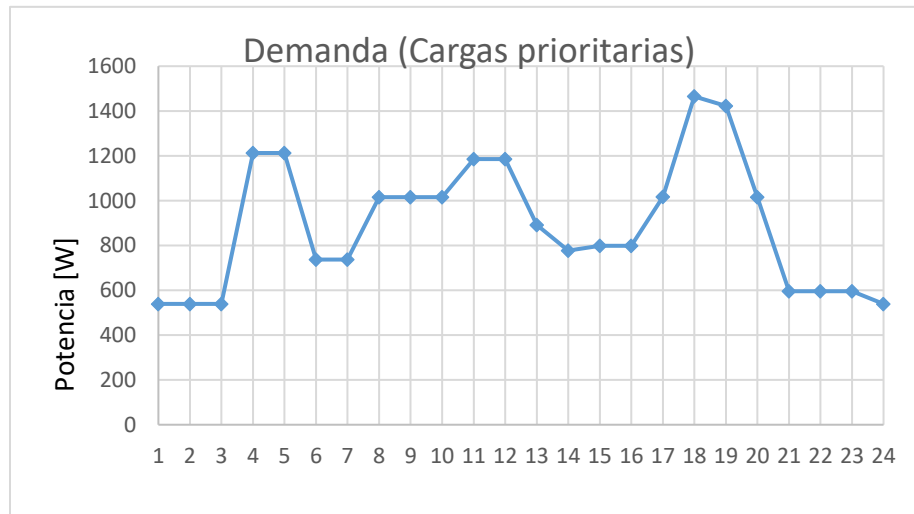


Figura 11. Curva de demanda cargas prioritarias.

### 3.4 Descripción de la curva de demanda de cargas prioritarias (neveras y bombillos y equipos de cómputo).

De la estimación de la demanda de cargas prioritarias mencionadas en la sección 3.3, se agregan los equipos de cómputo que, según información de la comunidad, son los más utilizados. Se realizó la Tabla 11.

Tabla 11.

*Estimación de la demanda de cargas prioritarias (neveras, bombillos y equipos de cómputo)*

| CUADRO DE CARGAS    |                            |                   |                | HORA |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------------|----------------------------|-------------------|----------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Cant.               | Concepto                   | Potencia          | Potencia       |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                     |                            | Unitaria<br>[W/h] | Total<br>[W/h] | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| BAÑOS Y LAVADERO    |                            |                   |                |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 12                  | Bombillos                  | 7                 | 84             |      |   |   | X | X |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |
| ESCUELA             |                            |                   |                |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 38                  | Bombillos                  | 7                 | 266            |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 6                   | Portátil                   | 50                | 300            |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| IGLESIA             |                            |                   |                |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 8                   | Bombillos                  | 7                 | 56             |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| COCINA              |                            |                   |                |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 6                   | Bombillos                  | 7                 | 42             |      |   |   | X | X | X | X |   |   | X  | X  | X  |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |
| 2                   | Nevera<br>Electrolux       | 60                | 120            | X    | X | X | X | X | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
| 2                   | Refrigerador<br>Electrolux | 30                | 60             | X    | X | X | X | X | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
| TIENDA DE ROPA      |                            |                   |                |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 3                   | Bombillos                  | 7                 | 21             |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| COMEDOR             |                            |                   |                |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 4                   | Bombillos                  | 7                 | 28             | X    | X | X |   |   | X | X |   |   |    |    |    |    |    |    | X  |    |    |    |    |    |    |    | X  |
| DORMITORIO          |                            |                   |                |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 60                  | Bombillos                  | 7                 | 420            |      |   |   | X | X |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |
| CENTRO DE SALUD     |                            |                   |                |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 30                  | Bombillos                  | 7                 | 210            |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
| 3                   | Neveras                    | 60                | 180            | X    | X | X | X | X | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
| CASA DEL PROFESOR   |                            |                   |                |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 4                   | Bombillos                  | 7                 | 28             |      |   |   | X | X | X | X |   |   |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |
| 1                   | Nevera                     | 30                | 30             | X    | X | X | X | X | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
| SECRETARIA          |                            |                   |                |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 2                   | Bombillos                  | 7                 | 14             |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| SALA DE INFORMATICA |                            |                   |                |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 2                   | Bombillos                  | 7                 | 14             |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  |    |    |    | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |
| 10                  | Portátil                   | 50                | 500            |      |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |    |

Después de realizar los cálculos correspondientes y la caracterización de las cargas que se suponen prioritarias sumándole algunos equipos de cómputo, se obtiene la curva de demanda presentada en la Figura 12.

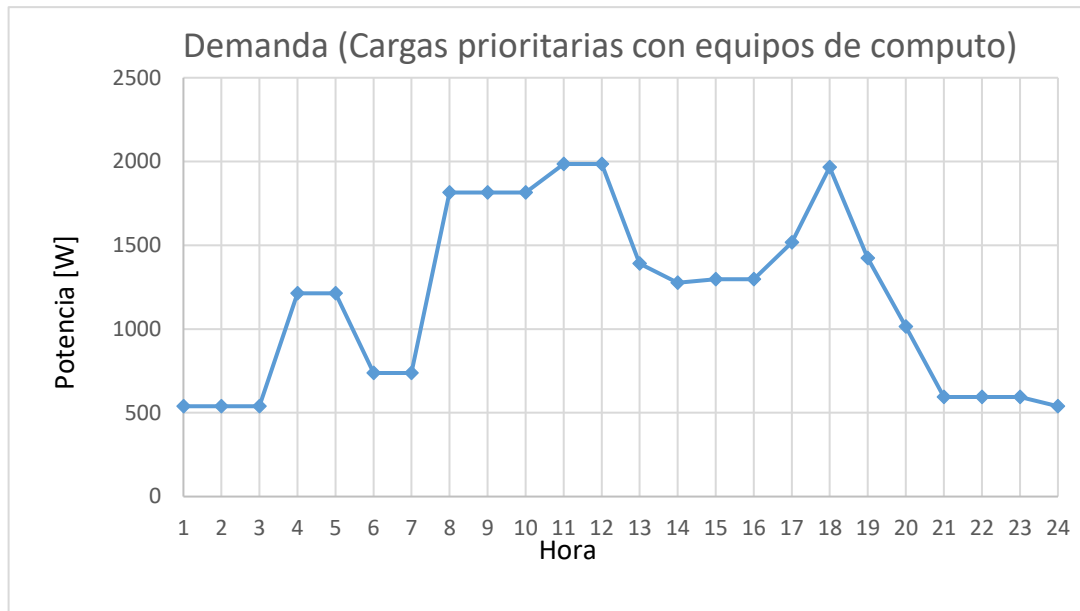


Figura 12. Curva de demanda cargas prioritarias con equipos de cómputo.

#### 4. Estimación del potencial energético en la región donde está ubicada la comunidad

##### U'WA.

En este capítulo se presenta la estimación del potencial energético de la zona en estudio a partir de fuentes no convencionales de energía. Para ello se expone en la sección 4.1 la manera en la que se realiza esta estimación y en la sección 4.2 se presenta el potencial a partir del recurso solar.

#### 4.1 Procedimiento inicial.

En esta sección se analizan los recursos renovables que se encuentran para la generación de energía eléctrica. Esta preselección permite desarrollar un estudio más minucioso del potencial energético que tienen aquellas fuentes de energía más provechosas.

Para tener un indicio del potencial energético en la zona, se solicitó al instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) sobre las respectivas mediciones de irradiancia solar y también se obtuvo información de la página de predicción de recursos energéticos mundiales de la NASA. (NASA, s.f.)

#### 4.2 Recurso solar.

Para darnos una idea del potencial energético solar en Colombia, en las Figura 13 y Figura 14, se presenta el mapa de la radiación solar en el país, junto con los datos de la energía producida en las diferentes zonas del país y la distribución del brillo solar en horas de luz solar día respectivamente.

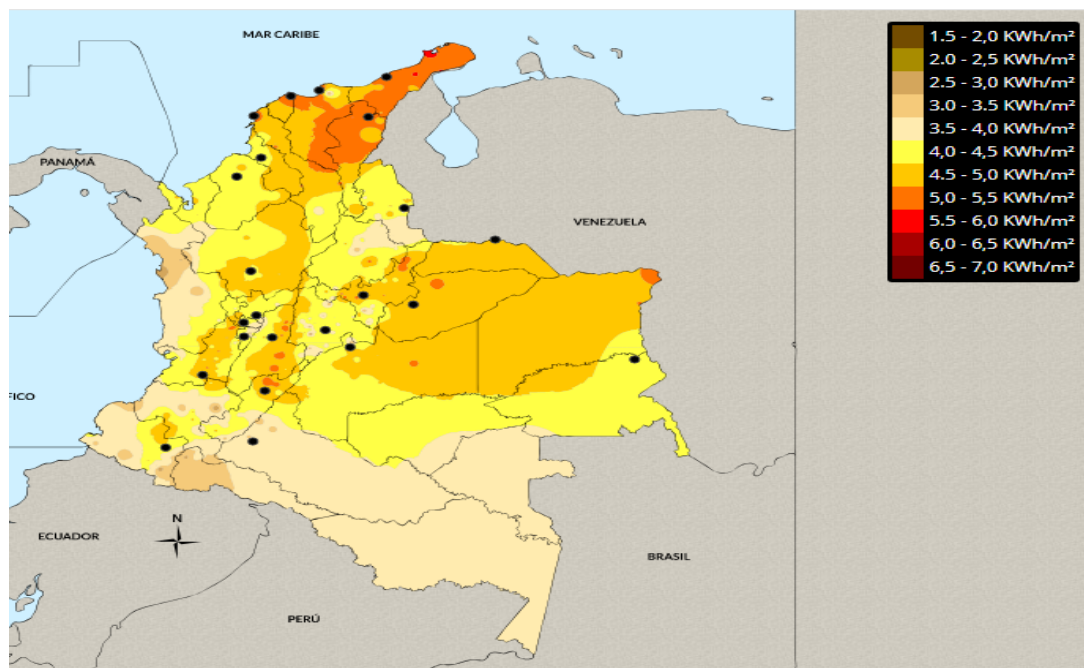


Figura 13. Mapa de radiación solar en Colombia. Obtenido de Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>.

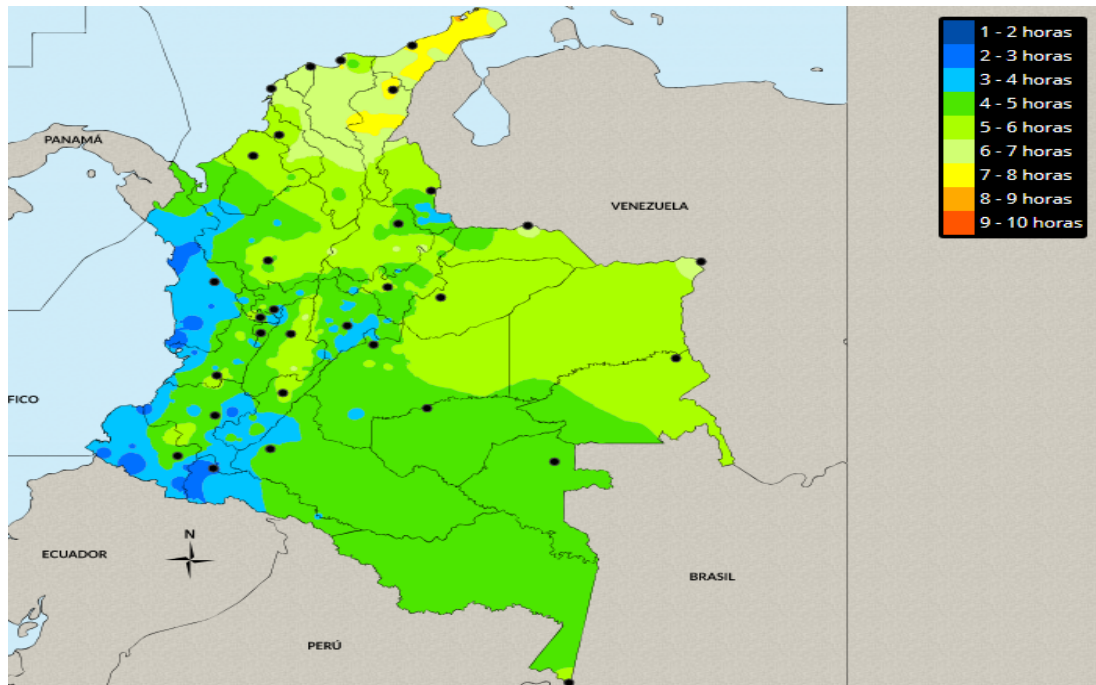


Figura 14. Distribución del brillo solar medio diario (horas de sol al día) en Colombia. Obtenido de Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>.

Para poder tener un indicio del potencial energético de la zona en estudio, se recogieron los datos de la página de predicción de los recursos energéticos mundiales de la NASA. (NASA, s.f.)

En la Figura 15 y Figura 16 se muestran las curvas de radiación solar máxima y mínima en meses, donde se observa que el mes de diciembre y abril son respectivamente los de mayor y menor radiación.



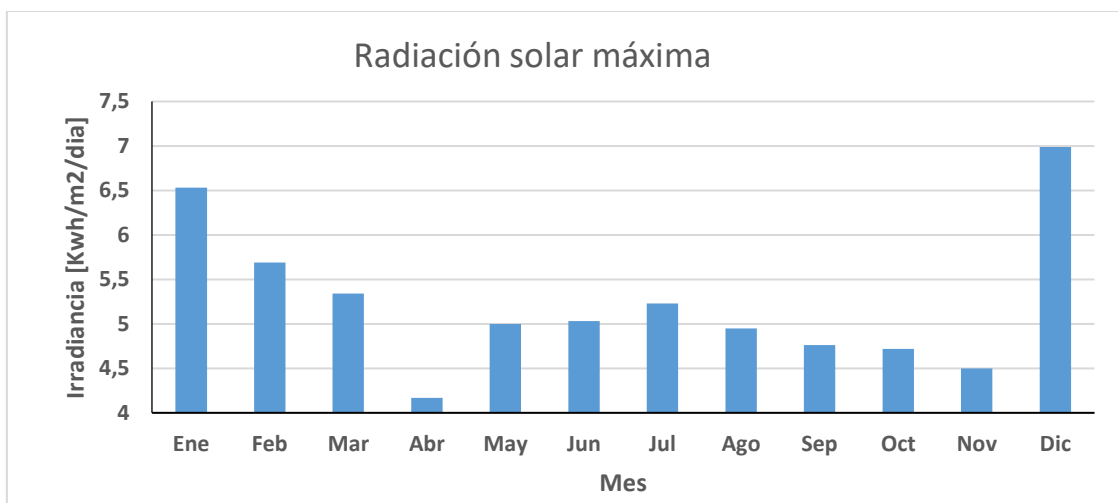


Figura 15. Gráfica radiación solar máxima diaria por mes en el municipio de Cubara.

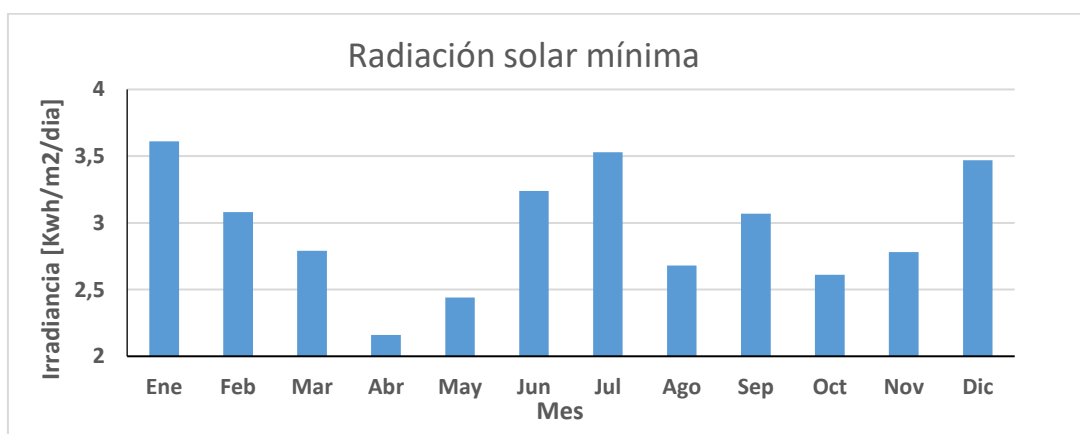


Figura 16. Gráfica radiación solar mínima diaria por mes en el municipio de Cubara.

Al observar las gráficas se puede verificar claramente que las épocas del año con mayor radiación solar en la zona, son los meses de diciembre y enero, así mismo, los meses con menor radiación solar son abril, octubre y noviembre, esto hace necesario el uso de equipos de almacenamiento de energía tales como baterías, esto con el fin de que en la época que se genera mayor irradiancia se pueda acumular toda la energía posible para suplir la demanda de las cargas en los días con poca radiación solar.

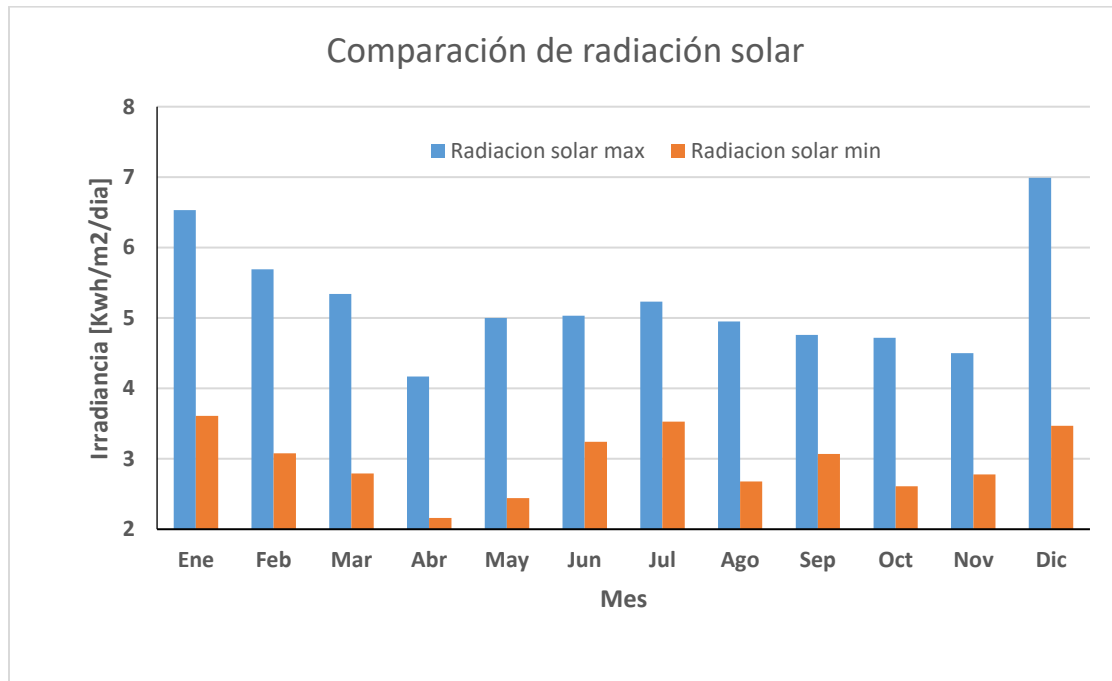


Figura 17. Comparación de la radiación solar diaria por mes.

En la Figura 18 se presenta la curva de radiación solar promedio día, en donde se puede ver que en promedio la menor radiación se da en el mes de abril, la cual es de aproximadamente de 3,02 [kWh/m2] por lo que se presenta un potencial solar bajo.

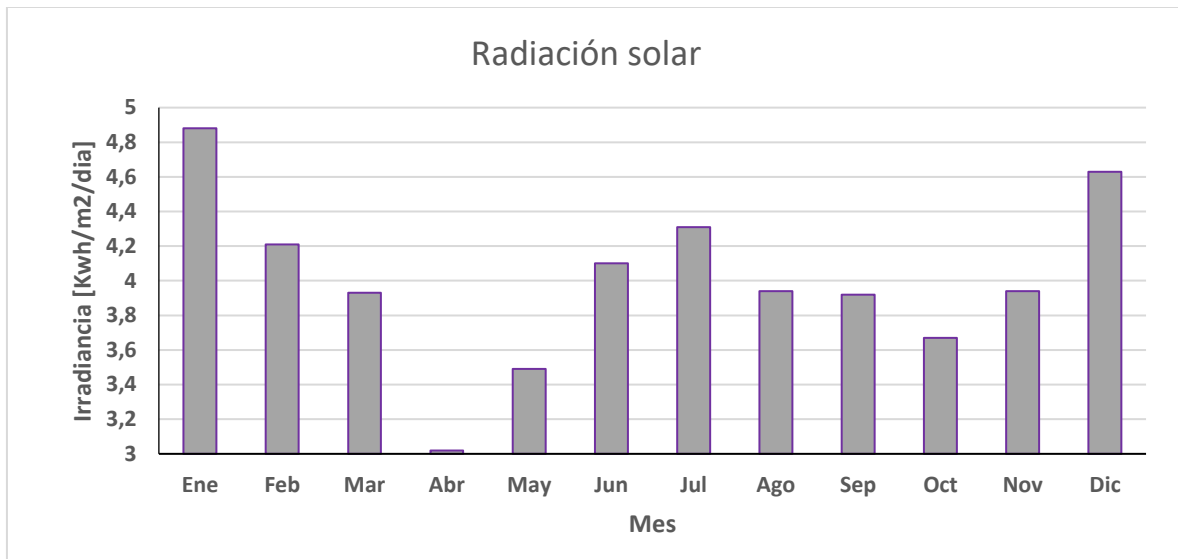


Figura 18. Promedio de radiación solar diaria por mes en el municipio de Cubará.

## 5. Metodología para la selección del sistema energético

En el este capítulo se presenta la metodología por la cual se selecciona el sistema energético adecuado. En la sección 5.1 se expone el criterio de selección del sistema, así como el software utilizado y las distintas simulaciones que se realizan, la sección 5.2 se muestran las variables de entrada del software como curva de demanda, entre otros. En la sección 5.3 se evidencian los resultados de los diferentes escenarios de simulación planteados además del sistema energético seleccionado como el adecuado para suplir la necesidad expuesta en el capítulo 1. En la sección 5.4 se plantea un análisis de sensibilidad realizado al sistema seleccionado y, por último, en la sección 5.5 se presenta una síntesis de los costos del proyecto.

### 5.1 Simulación.

Obtenidas las curvas de irradiancia solar, se procede a simular el sistema. Para este proceso de simulación se decidió utilizar el software HOMER PRO® (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources), originalmente desarrollado en el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos, y mejorado y distribuido por HOMER Energy, este permite establecer de manera óptima los componentes que harán parte del sistema. Este software evalúa distintas combinaciones y configuraciones para un sistema teniendo en cuenta aspectos técnicos, económicos y meteorológicos.

Para determinar el escenario que mejor se adapte a las necesidades ya especificadas en el capítulo 2, se decide tomar como parámetros de selección el costo presente neto del proyecto (NPC), el costo nivelado de la energía (COE).

Las simulaciones se realizaron con base a las curvas de demanda del capítulo 3. Se realizaron tres suposiciones, la primera fue de un sistema totalmente autónomo que suministre energía eléctrica a toda la zona del Chuscal, la segunda corresponde a un sistema que supla solo las cargas que se creen prioritarias y la tercera pertenece a un sistema que entregue energía eléctrica, las cargas prioritarias, más los equipos de cómputo.

Teniendo en cuenta las consideraciones del capítulo 4 para el potencial energético a partir del recurso solar, se encontró viable considerar un sistema con almacenadores de energía como

baterías, puesto que, se debe tener en cuenta que las fuentes no convencionales de energía eléctrica tienen un alto grado de variabilidad.

Con base a lo mencionado anteriormente y como se dijo en el capítulo 4 se propone el uso de baterías que garanticen confiabilidad y continuidad a la demanda parcial requerida.

Se debe tener en cuenta que la zona en estudio actualmente cuenta con servicio de energía eléctrica por parte del operador de red de la zona (EBSA), debido a la inestabilidad ya mencionada en el capítulo 2, las simulaciones se realizaron suponiendo sistemas totalmente autónomos, es decir, desconectados de la red convencional.

El método para determinar el sistema energético óptimo abarca los siguientes escenarios de simulación:

- Escenario 1: Para este escenario se dimensionó un sistema autónomo para la demanda actual total.
- Escenario 2: se dimensionó tomando solo las cargas de iluminación y artefactos de refrigeración.
- Escenario 3: Se planteó este escenario tomando las cargas de iluminación, artefactos de refrigeración y equipos de cómputo.

En la sección 5.2 se muestran todas las variables de entrada ingresadas para simular, dimensionar y optimizar el sistema.

## 5.2 Parámetros de entrada.

En la Figura 19 se muestra un diagrama de bloques que resume el método en que el software HOMER Pro® interactuará con las tres variables de entrada para obtener el sistema energético idóneo a aplicar en el proyecto.

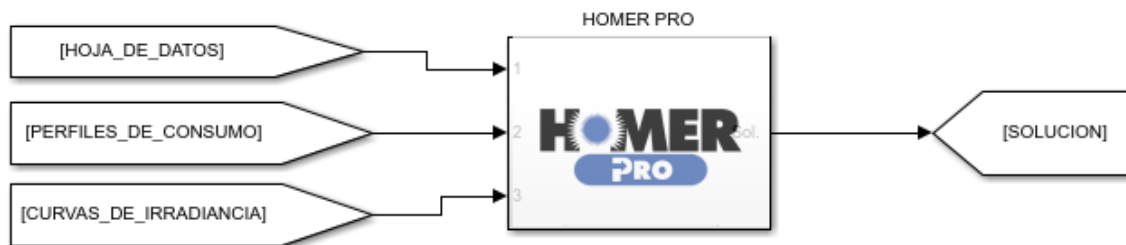


Figura 19. Diagrama de bloques del sistema energético para el proyecto

**5.2.1 Curva de demanda del sistema.** La curva de demanda ingresada es la realizada en el capítulo 2 con los datos recolectados durante la visita a la comunidad.

**5.2.2 Recursos renovables.** Los recursos renovables ingresados al software son los promedios mensuales de radiación solar expuestos en el capítulo 4.

**5.2.3 Componentes del sistema.** Debido a que para las simulaciones es necesario incluir los precios de compra de los elementos, así como su costo de operación, mantenimiento y reposición, se tomaron para el estudio costos sobre instalaciones fotovoltaicas. En aras de hacer más robusto al sistema los elementos incluidos para la simulación del sistema se seleccionaron de la base de datos del software HOMER Pro®. (Garcia Perez, 2019)

*5.2.3.1 Paneles fotovoltaicos.* Se ha decidido utilizar paneles del fabricante TrinaSolar. El modelo escogido es el Trina Duomax PEG14 disponible en la librería de HOMER Pro®. En la tabla se presenta un resumen de sus características y de los parámetros que fueron introducidos en el software teniendo en cuenta que los costos presentados en la Tabla 12 tienen además del costo del módulo solar, los costos de su instalación incluyendo cableado y estructuras. (Garcia Perez, 2019).

Tabla 12.  
*Especificaciones de los paneles fotovoltaicos.*

| Coste inicial | Operación y<br>mantenimiento | Reposición    | Vida útil | Potencia |
|---------------|------------------------------|---------------|-----------|----------|
| 611 [USD\$]   | 6,11 [USD<br>\$/AÑO]         | 366,6 [USD\$] | 25 AÑOS   | 320 W    |

5.2.3.2 *Baterías*. Las baterías usadas fueron de 2V a 4464Ah, de modelo 24 OPZS 3000 del fabricante alemán HOPPECKE. Se plantea este tipo de baterías como idóneas para un sistema similar al del presente proyecto. Además, de que este tipo de batería se encuentra disponible en la librería de HOMER Pro®. En la Tabla 13 se presentan los parámetros introducidos en HOMER Pro® correspondientes a la batería. (SUNFIELDS Europe, s.f.) (Garcia Perez, 2019)

Tabla 13.  
*Especificaciones de las baterías.*

| <b>Coste inicial</b> | <b>Operación y<br/>mantenimiento</b> | <b>Reposición</b> | <b>Vida útil</b> | <b>Profundidad<br/>de descarga</b> | <b>Baterías<br/>por string</b> |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------|------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| 2171<br>[USD\$]      | 217 [USD<br>\$/AÑO]                  | 1953 [USD\$]      | 10 AÑOS          | 20%                                | 12                             |

5.2.3.2 *Inversor*. Para las simulaciones se consideró el inversor SE5000 US del fabricante SolarEdge disponible en la librería de HOMER Pro®. En la Tabla 14 se presentan los parámetros introducidos en HOMER Pro® correspondientes al inversor. (SUNFIELDS Europe, s.f.) (Garcia Perez, 2019) .



Tabla 14.  
Especificaciones del inversor.

| Coste inicial | Operación y mantenimiento | Reposición   | Vida útil | Eficiencia | Capacidad relativa del rectificador | Eficiencia del rectificador |
|---------------|---------------------------|--------------|-----------|------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 2171 [USD\$]  | 217 [USD \$/AÑO]          | 1953 [USD\$] | 10 AÑOS   | 20%        | 12                                  | 90%                         |

La capacidad relativa del rectificador es la capacidad nominal del rectificador en relación con la del inversor, es decir que un valor de 100% para este ítem indica que el inversor es de doble dirección, es decir que puede transformar la misma cantidad de potencia de DC a AC que de AC a DC.

#### 5.2.4 Otros parámetros. Otros parámetros a tener en cuenta son:

- Tensión en la barra DC: Para la barra de DC se trabajó con una tensión de 24 [V] por facilidad a la hora de buscar en el mercado inversores, rectificadores y controladores de carga para esa tensión. Ya que las baterías son de 2 [V] se usaron arreglos de 12 baterías en serie.
- Vida del proyecto: La duración del proyecto considerada fue de 25 años ya que coincide con el tiempo de vida útil los paneles fotovoltaicos.
- Precio del dólar: La tasa de cambio representativa del mercado (TRM) para la actualidad fue de 3117 [COP\$] por 1 [USD\$], este valor fue el que se usó para llevar los resultados de HOMER Pro® de dólares a pesos colombianos.

### 5.3 Selección del sistema energético óptimo.

HOMER Pro® tiene la capacidad de determinar cuáles de los elementos propuestos que deben hacer parte del sistema, de manera que se atienda la demanda de manera eficiente.

Considerando que HOMER Pro® tiene la herramienta “Optimizer” que permite saber cuánta es la capacidad que debe tener cada instalación del sistema, de tal forma que se optimice el costo del proyecto, se simularon los 3 escenarios mencionados anteriormente utilizando esta herramienta con el fin de determinar la capacidad instalada para cada sistema.

Después de simular los tres escenarios, se obtuvieron los siguientes resultados de capacidad instalada para cada sistema:

Tabla 15.  
Resultados simulaciones HOMER Pro®.

| Escenario | Capacidad fotovoltaica | # de baterías | Capacidad del |
|-----------|------------------------|---------------|---------------|
|           | [kW]                   |               | Inversor [kW] |
| <b>1</b>  | 23                     | 36            | 11,2          |
| <b>2</b>  | 7,21                   | 12            | 2,62          |
| <b>3</b>  | 11,8                   | 12            | 3,25          |

En la Tabla 15 se muestra la capacidad instalada para los escenarios propuestos, el escenario 1 simula un sistema autónomo para la demanda actual total, este que corresponde a una capacidad instalada mayor en comparación con los otros dos, el escenario 2 se dimensionó tomando solo las

cargas de iluminación y artefactos de refrigeración es el que tiene una menor capacidad instalada y por último el escenario 3 que se planteó tomando las cargas de iluminación, artefactos de refrigeración y equipos de cómputo, tiene una capacidad instalada un poco mayor a la del escenario 2. Los 3 escenarios se simularon considerando una duración del proyecto de 25 años, un aumento en la demanda del 0.25%, 0.15% y 1% anual respectivamente y un deterioro de los paneles solares del 0,85% anual. Los resultados económicos de la simulación se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16.  
*Resultados económicos de las simulaciones en HOMER Pro.*

| Escenario | Capital             | Operación y<br>Mant. [MCOP\$] | Reemplazo<br>[MCOP\$] | Costo                     | COE<br>[COP\$/<br>kWh] |
|-----------|---------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|
|           | Inicial<br>[MCOP\$] |                               |                       | Presente Neto<br>[MCOP\$] |                        |
| 1         | \$ 412,97           | \$ 351,71                     | \$ 103,64             | \$ 849,02                 | \$2593                 |
| 2         | \$ 131,70           | \$ 114,89                     | \$ 66,42              | \$ 303,98                 | \$3036                 |
| 3         | \$ 160,85           | \$ 121,38                     | \$ 67,10              | \$ 340,17                 | \$2372                 |

A partir de los resultados presentados en la *Tabla 16*, se observa un valor muy alto en el costo presente neto de la simulación del escenario 1, este valor hace referencia al costo del sistema para toda su vida útil, por lo tanto, esta opción es inviable.

Al comparar los resultados del costo de la energía COE, se puede ver que para los 3 escenarios es relativamente alto, esto se da porque el potencial energético de la zona es bajo en la mayoría de los meses del año. El COE va a depender del tipo de generación que se vaya a utilizar, el potencial

energético de la zona y de los equipos que se utilicen para la implementación del sistema seleccionado.

En la Figura 20 se puede observar el porcentaje de excesos de energía durante los 25 años de vida útil del sistema, se observa que el escenario 3 tiene un exceso de energía mayor. Los excesos de energía nos muestran la energía que el sistema genera y que las cargas no la requieren.

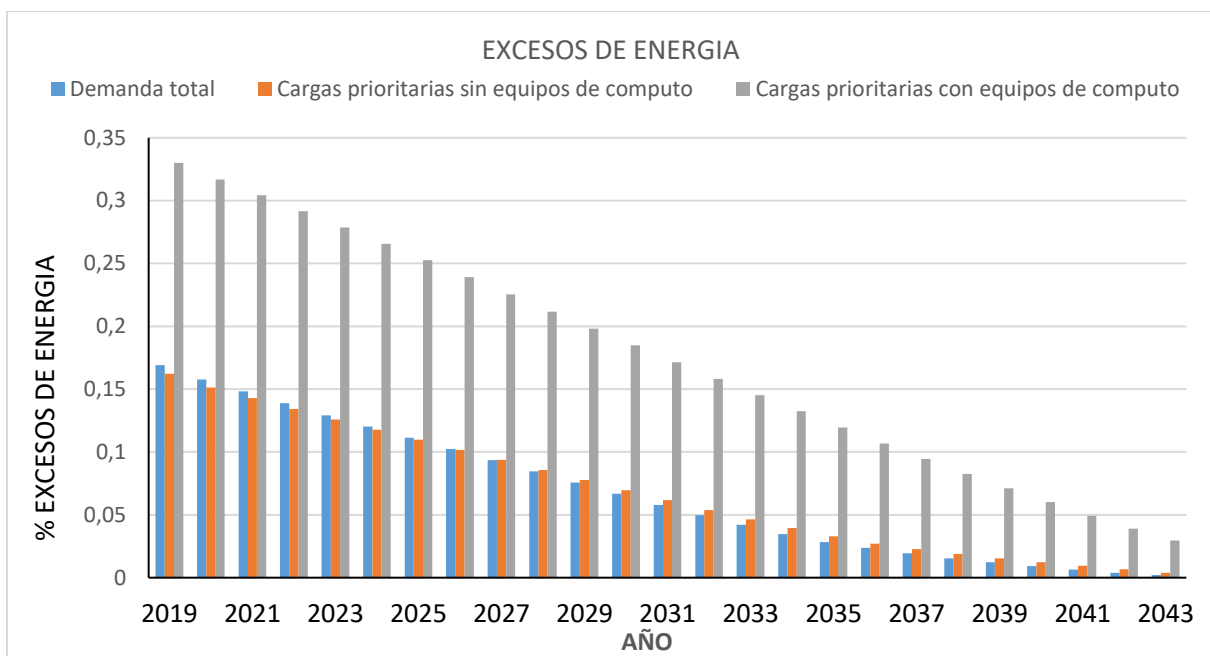


Figura 20. Grafica de excesos de energía durante la vida útil de los sistemas.

En la Figura 21 se puede notar como crece el porcentaje de carga no atendida a medida que pasan los 25 años de vida útil del sistema, para la simulación de los 3 escenarios se utilizó un porcentaje igual de carga no atendida por año.

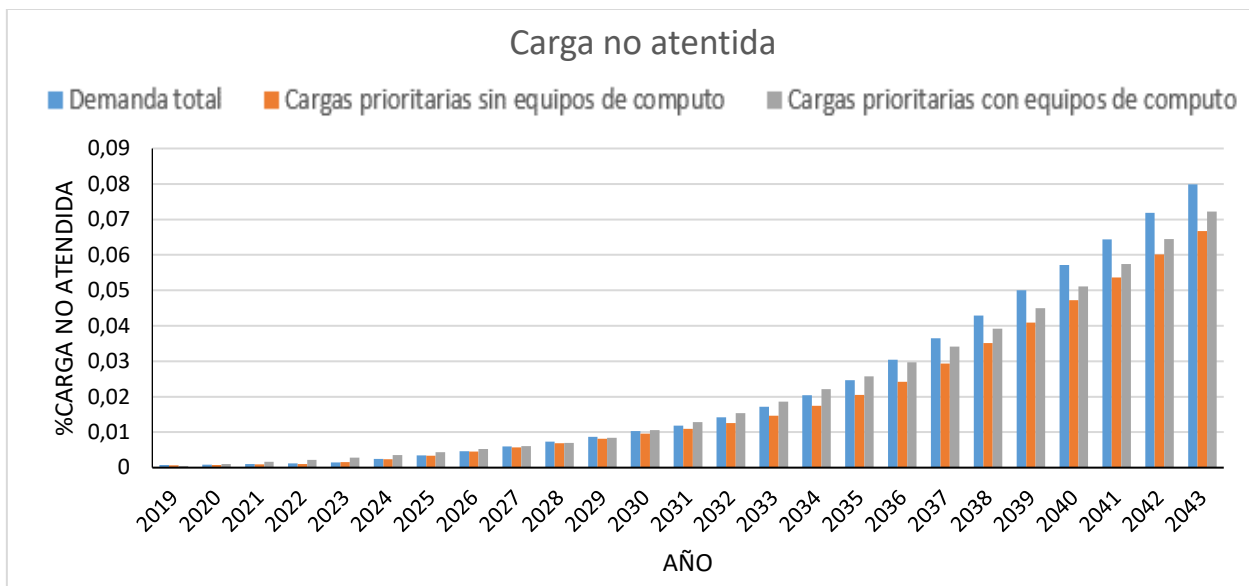


Figura 21. Grafica de la carga no atendida durante la vida útil de los sistemas.

El escenario que mejor se adapta a las necesidades es el número 2, que a pesar de tener el COE más alto debido a que la carga que va a suplir es menor, tiene el costo presente neto más bajo que los escenarios 1 y 3.

En la Figura 22 se muestra la configuración del escenario seleccionado:



Figura 22. Configuración del escenario seleccionado. Obtenido de HOMER PRO: <https://www.homerenergy.com/company/>

En Figura 23 se muestra la forma en que operaría el sistema en cuanto la generación de energía y la atención de la demanda según el sistema más conveniente. Se tomó como ejemplo el día 11 de abril el cual es miércoles, un día en el que la actividad en el lugar es alta.

Se puede ver también en la Figura 23 como la curva de la carga servida o carga alimentada en la mayoría de las horas es similar a la curva de la demanda, esto evidencia que el sistema simulado cumple con el requerimiento deseado.

La carga servida o carga alimentada representa la carga que el sistema seleccionado puede abastecer y la curva de demanda es la realizada en el capítulo 3.

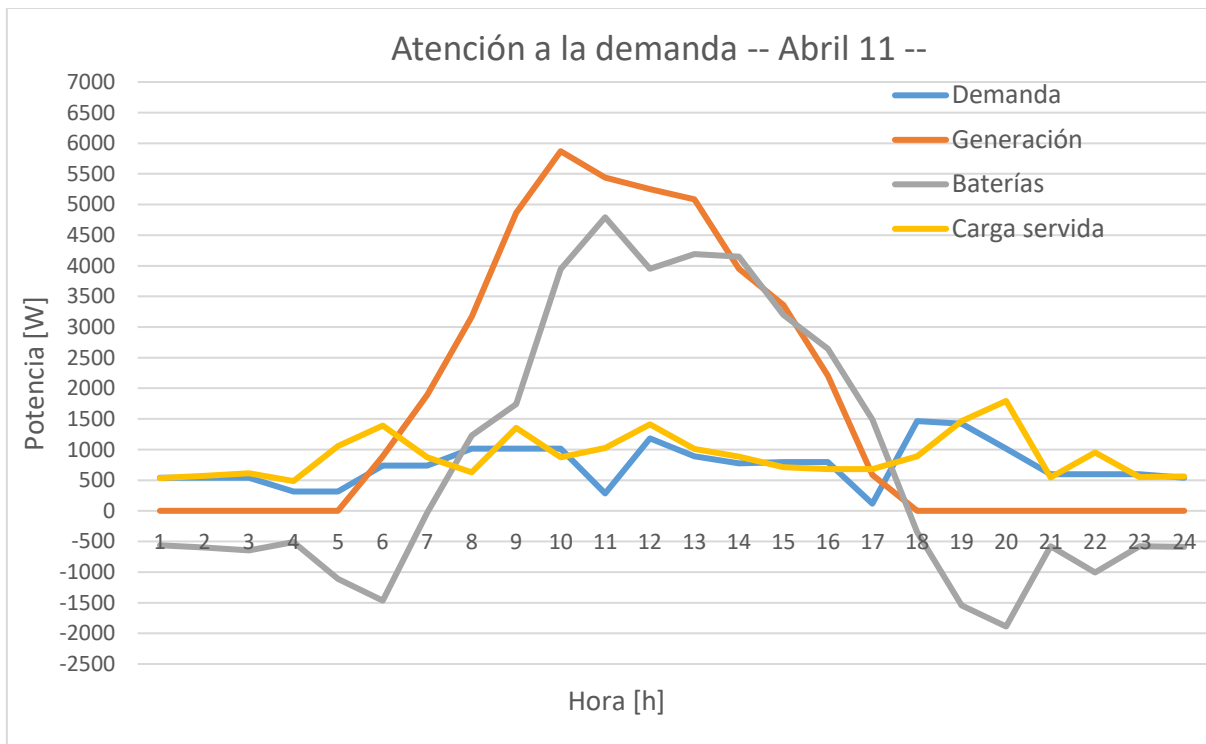


Figura 23. Grafica del comportamiento del sistema en un día.

La producción de energía eléctrica promedio para cada año durante la vida útil del proyecto se muestra en la Figura 24. En esta figura se aprecia como la generación de la instalación solar se ve disminuida debido al deterioro que tienen los paneles solares.

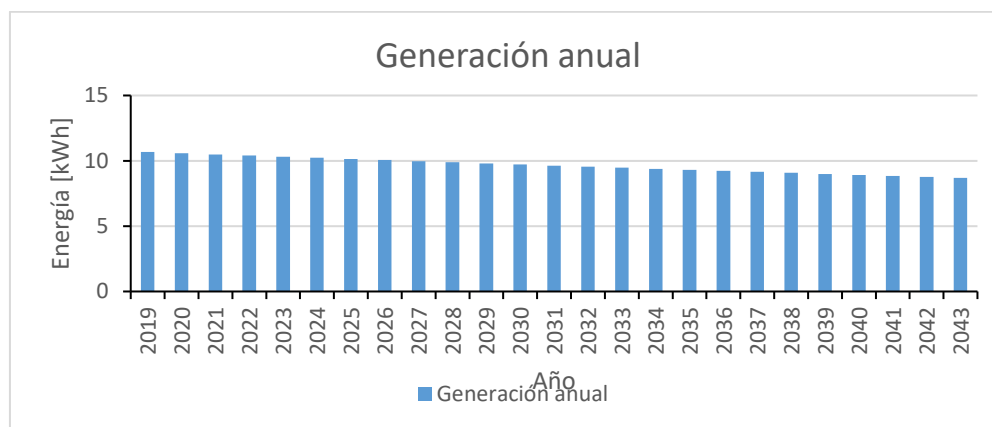


Figura 24. Grafica de la generación anual durante la vida útil del sistema.

#### 5.4 Costos por instalación.

Como se dijo en la anterior sección, la configuración óptima para la propuesta de un sistema para suplir una demanda prioritaria es la planteada en el escenario 2, la cual está compuesta por los siguientes elementos, presentados en la Tabla 17:

Tabla 17.  
Especificaciones de los componentes del sistema seleccionado.

| Componente                   | Referencia              | Capacidad instalada     |
|------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Paneles fotovoltaicos</b> | Trinasolar Duomax PEG14 | 7,21 [kW]               |
| <b>Inversores</b>            | SolarEdge SE5000        | 2,62 [kW]               |
| <b>Baterías</b>              | Hoppecke 24 OPzS3000    | 1 String de 12 unidades |

Los costos que tendría la instalación durante la vida útil del sistema de ser construido se presentan en la Tabla 18:

Tabla 18.  
*Especificaciones de los costos durante la vida útil del sistema seleccionado.*

| Componente            | Capital [MCOP\$] | Operación y Mantenimiento [MCOP\$] | Reemplazo [MCOP\$] | Total [MCOP\$] |
|-----------------------|------------------|------------------------------------|--------------------|----------------|
| Paneles fotovoltaicos | \$42,91          | \$5,48                             | \$0                | \$48,39        |
| Inversor              | \$7,6            | \$2,5                              | \$2,85             | \$12,42        |
| Baterías              | \$81,20          | \$103,76                           | \$63,57            | \$240,02       |
| Otros                 | \$0              | \$3,14                             | \$0                | \$3,14         |
| TOTAL                 | \$131,71         | \$114,88                           | \$66,42            | \$303,98       |

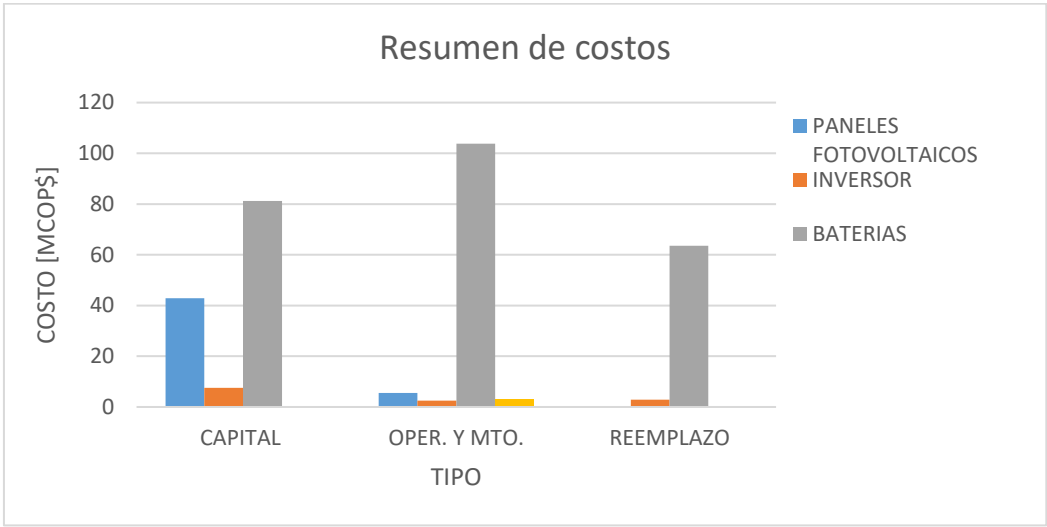


Figura 25. Grafica de resumen de costos.

Como se muestra en la Figura 25 los costos más representativos para el proyecto son los correspondientes al capital inicial y a las baterías.



Los costos dados en la simulación pertenecen al valor presente neto, el cual es equivalente en pesos colombianos a la inversión de toda la vida útil del proyecto.

### 5.5. Optimización del sistema seleccionado

Debido al alto costo del sistema seleccionado con las baterías del fabricante Hoppecke, se realiza una simulación con las características del sistema seleccionado utilizando baterías de 6V a 1225 Ah, de modelo SIND 06 1225 del fabricante estadounidense TROJAN. En la *Tabla 19* se presentan los parámetros introducidos en HOMER Pro® correspondientes a las nuevas baterías seleccionadas. (Trojan Battery Company, s.f.)

Tabla 19.  
*Especificaciones de las nuevas baterías seleccionadas.*

| Coste inicial | Operación y mantenimiento | Reposición   | Vida útil | Profundidad de descarga | Baterías por string |
|---------------|---------------------------|--------------|-----------|-------------------------|---------------------|
| 2000[USD\$]   | 217 [USD \$/AÑO]          | 1900 [USD\$] | 10 AÑOS   | 20%                     | 4                   |

Esta nueva simulación se hace con el fin disminuir los costos de los equipos de almacenamiento y por lo tanto del sistema seleccionado. En la Tabla 20 se presentan los resultados de la simulación con las nuevas baterías.

Tabla 20.

Especificaciones de los componentes de la optimización del sistema seleccionado.

| COMPONENTE                   | REFERENCIA              | CAPACIDAD INSTALADA    |
|------------------------------|-------------------------|------------------------|
| <b>Paneles fotovoltaicos</b> | Trinasolar Duomax PEG14 | 7,21 [kW]              |
| <b>Inversores</b>            | Solar Edge SE5000       | 2,62 [kW]              |
| <b>Baterías</b>              | Trojan SIND 06 1225     | 1 String de 4 unidades |

En la Figura 26 se presenta una comparación de los costos del sistema seleccionado con las baterías HOPPECKE y el sistema optimizado con las baterías TROJAN.

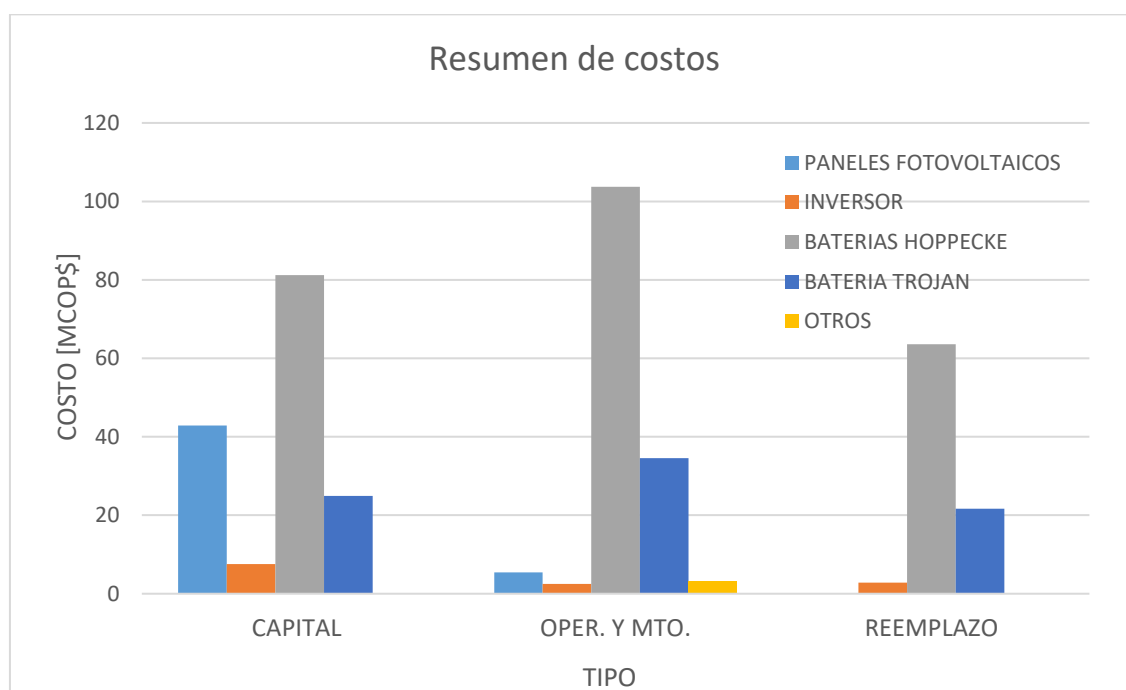


Figura 26. Grafica de resumen de costos comparativa.

## 6. Conclusiones.

En este proyecto se estudiaron algunos aspectos técnicos, económicos y ambientales, con el fin de observar la viabilidad de la solución propuesta para un sistema de generación solar en la comunidad de U'WA, emulando que esta zona se encuentra desconectada de la red convencional. Las principales conclusiones obtenidas son las siguientes:

La comunidad U'wa en Colombia está ubicada en diferentes departamentos y zonas de difícil acceso, debido a esto, proponer una solución para cada habitante de la comunidad, no es factible económicamente. Por lo tanto, resulta conveniente proponer soluciones para el suministro de energía eléctrica, como el proyecto planteado, para zonas de mayor concentración poblacional.

Con el propósito de garantizar la longevidad del proyecto, Se propone la solución de suministro de energía eléctrica haciendo uso de productos de calidad y con el respaldo de la implementación exitosa de estos, en proyectos ya realizados por la Electrificadora de Santander S.A. (Garcia Perez, 2019)

Como se evidenció en los resultados de las simulaciones realizadas, El costo del sistema de generación solar y por consiguiente el LCOE es relativamente alto, ya que la zona en estudio tiene poco potencial en el recurso solar durante la mayoría del año.

### Bibliografía

Atlas IDEAM. (s.f.). *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*.

Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

Garcia Perez, A. F. (2019). *Planteamiento de un piloto de microrred para una zona con potencial energético mediante FNCER*. Bucaramanga.

Google Earth. (30 de Septiembre de 2018). *Cubará, Boyacá*. Obtenido de Google Earth: [https://earth.google.com/web/@7.00178,-](https://earth.google.com/web/@7.00178,-72.10818595,356.75458676a,2345.01122876d,35y,0h,0t,0r)

[72.10818595,356.75458676a,2345.01122876d,35y,0h,0t,0r](https://earth.google.com/web/@7.00178,-72.10818595,356.75458676a,2345.01122876d,35y,0h,0t,0r)

HOMER PRO. (s.f.). Obtenido de HOMER PRO: <https://www.homerenergy.com/company/>

IPSE. (s.f.). Obtenido de Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas: <http://www.ipse.gov.co/>

MinCultura. (2013). *Caracterizaciones de los pueblos indígenas de Colombia*. Bogotá: Ministerio de Cultura.

NASA. (s.f.). Obtenido de NASA Prediction of Worldwide Energy Resources: <https://power.larc.nasa.gov/>

Shadowxfox. (10 de 11 de 2012). *Colombia - Boyacá - Cubará*. Obtenido de Wikipedia: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia\\_-\\_Boyaca\\_-\\_Cubara.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Boyaca_-_Cubara.svg)

SUNFIELDS Europe. (s.f.). *SUNFIELDS Europe*. Obtenido de <https://www.sfe-solar.com/inversores-solares-fotovoltaicos/riello-aros/inversor-5000w-sirio-evo/>

SUNFIELS Europe. (s.f.). Obtenido de SUNFIELS Europe: <https://www.sfe-solar.com/baterias-solares/baterias-solares-hoppecke/>

Trojan Battery Company. (s.f.). *Trojan Battery Company*. Obtenido de  
[https://www.trojanbattery.com/product/sind\\_06\\_1225/](https://www.trojanbattery.com/product/sind_06_1225/)