

Estudio socio-técnico del uso de energías renovables como alternativa de iluminación en las comunidades de las zonas no interconectadas

Socio-technical study of the use of renewable energies as a lighting alternative in the communities of Non-Interconnected Zones

Catalina Muñoz-Arias^{1a}, Byron I. Villamil-Villar^{1b}, Andrés F. Restrepo-Álvarez², Omar F. Bolívar-Chaves³

¹ Desarrollo, Investigación e Innovación en Diseño (DI&ID), Departamento de Diseño, Universidad del Valle, Colombia. Correos electrónicos: ^a munoz.catalina@correounivalle.edu.co, ^b byron.villamil@correounivalle.edu.co. Orcid: ^a 0000-0002-1142-6336, ^b 0000-0001-5771-4766

² Grupo de Investigación en Control Industrial GICI, Universidad del Valle, Colombia. Correo electrónico: andres.restrepo@correounivalle.edu.co. Orcid: 0000-0001-7610-3362

³ Innovación y Desarrollo de Productos y Procesos (IDEPP), FaoraLabs, Colombia. Correo electrónico: obolivarc@sena.edu.co. Orcid: 0000-0002-7488-3913

Recibido: 29 octubre, 2020. Aceptado: 6 junio, 2021. Versión final: 21 septiembre, 2021.

Resumen

En Colombia un gran número de familias viven en condiciones de necesidades básicas insatisfechas, en particular, aquellas que se derivan de la ausencia o discontinuidad del servicio de energía eléctrica. El proyecto desarrollado alrededor de esta situación presta especial atención a la iluminación y cómo su ausencia o presencia intermitente modifica los hábitos dentro del hogar en las zonas no interconectadas (ZNI). Estas ZNI son clasificadas por el Gobierno nacional como áreas del territorio que, por su lejanía de los principales cascos urbanos o las dificultades topográficas locales, están fuera del sistema nacional de tendido eléctrico. Se reportan los resultados del trabajo de campo con familias en diferentes ZNI con características geográficas variadas; con base en estos testimonios y experiencias, además de la revisión de propuestas de diseño existentes, se establecen tanto los requerimientos y las determinantes como las cualidades y características que debe tener una propuesta adaptada a los usos, costumbres y condiciones en estos territorios en Colombia, fomentando al mismo tiempo una relación no destructiva con el ecosistema en las ZNI. De este modo se sientan las bases para el desarrollo de propuestas de diseño para la iluminación en los hogares de las ZNI que permitan construir hábitos saludables, satisfacer necesidades básicas y mejorar sus condiciones de vida.

Palabras clave: electricidad; zonas rurales; iluminación; desarrollo sostenible; medioambiente; energías renovables.

Abstract

In Colombia many families live under conditions of unfulfilled basic needs. Particularly the discontinuity or absence of the electric energy service. In this work we focus on electric light and how the presence or absence of a proper electric lighting service modifies the habits inside homes in Non-Interconnected Zones (NIZ). These are regions which

ISSN impreso: 1657 - 4583. ISSN en línea: 2145 - 8456, CC BY-ND 4.0 

Como citar: C. Muñoz-Arias, B. I. Villamil-Villar, A. F. Restrepo-Álvarez, O. F. Bolívar-Chaves, “Estudio socio-técnico del uso de energías renovables como alternativa de iluminación en las comunidades de las zonas no interconectadas,” *Rev. UIS Ing.*, vol. 21, no. 1, pp. 15-28, 2022, doi: <https://doi.org/10.18273/revuin.v21n1-2022002>.

due to the long distances from the principal urban areas or the roughness of the local topography, are not connected to the national electrical network, as are described by the national government. We report the results of field work with families in different NIZ with varied geographical characteristics based on these testimonies and experiences. In addition to the review of existing design proposals, both the requirements and the determinants are established as well as the qualities and characteristics that a proposal adapted to the uses, customs and conditions in these territories in Colombia must have, while fostering a non-destructive relationship with the ecosystem in NIZ. This lays the groundwork for the development of design proposals for lighting in NIZ households to build healthy habits, meet basic needs and improve living condition.

Keywords: electricity; rural areas; lighting; basic needs; sustainable development; environment; renewable energies.

1. Introducción

El actual modelo de generación de energía eléctrica, a nivel mundial, está basado en la explotación de recursos finitos. Es un modelo dañino para el medioambiente, sin embargo, la energía eléctrica es un servicio generador de bienestar que constituye un aspecto fundamental de la vida del ser humano. La vida moderna ha sido construida con dependencia en el uso de energía eléctrica para un sin número de actividades.

Actualmente, se presentan localidades sin acceso a energía eléctrica; se conoce que en estas localidades vive aproximadamente el 14 % de la población: 1.100 millones de personas [1] que se encuentran sin las mínimas condiciones de bienestar.

El 84 % de estas personas viven en zonas rurales en países en desarrollo donde las necesidades básicas humanas no están satisfechas.

En Colombia se presentan zonas donde no hay acceso a la energía eléctrica, denominadas zonas no interconectadas (ZNI); estos lugares se caracterizan entre otros aspectos por la riqueza de sus recursos naturales. El bienestar de las personas en estas zonas se ve afectado directamente por la ausencia o intermitencia del servicio eléctrico, ya que la energía eléctrica interviene en el desarrollo de la mayoría de las actividades del ser humano, es decir, las prácticas se ven condicionadas por este servicio.

En Colombia, las ZNI equivalen a un 52 % del territorio nacional [2], y se caracterizan por su baja densidad poblacional y por estar ubicadas a una larga distancia de los centros urbanos. Por estas características resulta costoso realizar la integración al sistema interconectado nacional (SIN) y, por tanto, se hace necesario que la prestación del servicio se genere directamente en cada zona; gracias a la abundancia de recursos, se buscan soluciones energéticas basadas en fuentes alternativas [3].

Los hogares de las familias colombianas en las ZNI se encuentran fuera de la cobertura del SIN. En muchos de estos hogares, como alternativa precaria y a corto plazo, el servicio es suministrado mediante la generación con combustibles fósiles, lo que causa un gran impacto ambiental. Este proceso es limitado y solo permite aprovechar el servicio durante algunas horas específicas del día.

Las familias en estas circunstancias se adaptan con facilidad a las condiciones de su entorno, por esto, cada localidad, familia o persona en las ZNI establece rutinas basadas en los servicios o recursos a su disposición. Las plantas eléctricas (generadores) de diésel o gasolina solo se encienden durante horas específicas del día, dado que los costos de operación son muy altos para las comunidades; esto hace que el horario disponible para iluminar la vivienda sea muy limitado y, por ende, toda actividad que requiere luz artificial para su desarrollo está condicionada a la disponibilidad del combustible.

Actualmente, este servicio en Colombia se genera por medio de plantas diésel en un 90 % de los casos. En las más de 1.600 localidades que hacen parte de las ZNI, el 83 % de las localidades cuenta con un servicio de energía eléctrica en las viviendas de 1 a 6 horas diarias y un 6 % no cuenta con el servicio. La inestabilidad de la prestación del servicio afecta, de forma directa, el bienestar de las personas porque un servicio parcial e intermitente impide la realización de las diferentes prácticas dentro del hogar.

La energía eléctrica es un servicio por medio del cual se satisfacen necesidades básicas y se genera bienestar para las familias tanto en las zonas conectadas como en las ZNI. Su ausencia o discontinuidad condiciona y limita el desarrollo de ciertos hábitos y la adopción de otros nuevos en el hogar, lo cual tiene un efecto deletéreo en las condiciones de vida. En Colombia, como consecuencia de la intermitencia en el servicio de energía eléctrica, más de 218.000 personas viven una situación de necesidades básicas insatisfechas [4], asociadas a la denominada “pobreza energética”.

Uno de los factores básicos que se modifica en los hogares en las ZNI es la iluminación. La acción de iluminar constituye aspectos críticos de la vida en el hogar, pues permite cumplir con los quehaceres, el desplazamiento dentro de la vivienda, la interacción entre las personas, además, brinda seguridad debido a la densidad de la oscuridad fuera de las viviendas.

La mirada cultural y social de las personas de las ZNI se basa en la relación con el planeta tierra y los recursos naturales al alcance en cada zona, esto se traduce en un entendimiento diferente del consumo de bienes y servicios. Por lo tanto, el servicio de energía eléctrica para iluminación de las viviendas debe seguir estas dos miradas; debe ir acorde con la relación de las personas con el entorno próximo.

En este artículo se presenta la relación de dependencia que existe entre la comunidad de Chucheros en Bahía Málaga (estudio de caso) con la intermitencia o ausencia de energía eléctrica para la iluminación y el desarrollo de hábitos y costumbres en menoscabo de la satisfacción de sus necesidades básicas; a partir de esto se presentan los requerimientos y determinantes (como normativa de ley) para el desarrollo de propuestas de diseño para la iluminación en ZNI.

Como se ha mencionado, las ZNI se caracterizan por su baja densidad poblacional, por su lejanía de los centros urbanos y por la dificultad topográfica que representa su acceso. Por esto, no es posible su integración al SIN y por ello se buscan soluciones energéticas basadas en fuentes alternativas, que generen local y directamente el recurso energético.

Estas zonas equivalen a un 52 % del territorio nacional [2], se encuentran compuestas por un departamento insular (archipiélago de San Andrés y Providencia), cuatro capitales departamentales (Amazonas, Vichada, Guainía y Vaupés), 17 departamentos, 70 municipios, 36 cabeceras municipales y 1.697 localidades [5].

Actualmente, el servicio en las ZNI se genera por medio de plantas diésel (90 %) y unas cuantas pequeñas centrales hidroeléctricas; esto implica costos de transporte del combustible, volatilidad del precio del petróleo, prestación parcial del servicio de energía y contaminación por combustibles de origen fósil. La inestabilidad de la prestación del servicio afecta a las familias de las ZNI, pues no pueden realizar las diferentes prácticas en el hogar.

2. Metodología

Con el propósito de facilitar la actividad de iluminación dentro del hogar en las ZNI que no cuentan con el servicio de energía eléctrica o cuentan con un servicio inestable, discontinuo y con consecuencias negativas para el medioambiente, se establecieron objetivos específicos que permiten definir los requerimientos que deben cumplir las propuestas que buscan transformar positivamente esta circunstancia.

Se establece como punto de partida analizar los hábitos mediados por el proceso de iluminación dentro del hogar en las ZNI, posteriormente, caracterizar las fuentes renovables no convencionales de generación eléctrica para la iluminación en los hogares de las ZNI y finalmente proponer un sistema de aplicación para el suministro de energía eléctrica para la iluminación en los hogares de las ZNI. Los objetivos se desglosan en el modelo metodológico.

El desarrollo del estudio se da al establecer la metodología pertinente para abordar el uso de iluminación en viviendas de las ZNI. Se propone un estudio directo con comunidades sin energía eléctrica para así entender los comportamientos frente a la ausencia o discontinuidad del servicio y las repercusiones en los hábitos dentro del hogar. La figura 1 enuncia los aspectos nombrados anteriormente.

Para lograr los objetivos planteados se crean unos pasos secuenciales de desarrollo del estudio, se enuncian los recursos por utilizar y el procedimiento; en la tabla 1 se encuentra dicha secuencia. El primer aspecto para trabajar es el acercamiento a personas sin el servicio de energía eléctrica y a las comunidades en algunas ZNI, con la finalidad de obtener información acerca de los hábitos mediados por la iluminación.

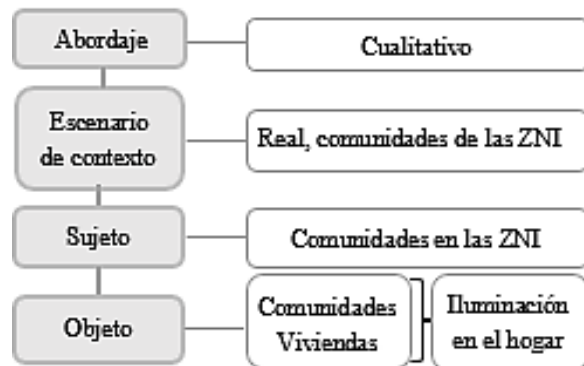


Figura 1. Introducción metodológica. Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Metodología

Objetivo por cumplir	Recurso por utilizar	Procedimiento
Analizar los hábitos mediados por el proceso de iluminación.	Entrevistas	Entrevistas a personas que han vivido o viven sin el servicio de energía eléctrica en el hogar. Poder reconocer las alternativas utilizadas por las personas en estas zonas.
	Visitas de campo	En las comunidades de ZNI, para obtener información de primera mano acerca de los hábitos y sus limitaciones frente a la iluminación.
	Caracterizar las posibles alternativas de generación para el proceso de iluminación.	
Caracterizar las fuentes alternativas no convencionales de generación eléctrica para el proceso de iluminación.	Literatura	Análisis de las fuentes renovables no convencionales.
	Documentos/bases de datos	Obtención de los valores reales de las fuentes viables para Colombia.
	Seleccionar una o varias fuentes renovables no convencionales para la iluminación en viviendas en las ZNI.	
Proponer un sistema para el proceso de iluminación.	Función eficiente	Por medio de análisis de estudios, datos y estadísticas, se establece la forma de generación más eficiente para la fuente seleccionada.
	Normatividad	La selección de la fuente en relación con el respaldo en la normativa colombiana.
	Estética	La configuración física y perceptual como facilitador de los usos y hábitos, con correspondencia a los usuarios.
Lograr definir los requerimientos y determinantes para el desarrollo de propuestas de iluminación, frente a los hábitos, usos y costumbres y también a las condiciones ambientales y sociales del contexto.		

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el censo realizado por el INCODER en el 2012, en el Consejo Comunitario de Bahía Málaga habitan 579 personas distribuidas en 153 familias, en las diferentes veredas, así: en La Plata habitan 70 familias; en La Sierpe, 30; en Miramar, 31; y en Mangaña, 22 familias. Para este estudio se trabaja con la comunidad negra Chucheros, ensenada El Tigre en Bahía Málaga, Buenaventura, conformada por 15 familias beneficiarias: 28 hombres y 32 mujeres, 8 menores de 28 años, pues ellos viven con un servicio de energía eléctrica discontinuo e inestable.

La comunidad usa plantas diésel o ACPM cuando requiere energía o cuando tiene el combustible fósil, casos de extrema necesidad, al estar en una zona costera, la densidad de la oscuridad en la noche es mayor a lo que se conoce en las ciudades. La vida en esta comunidad se ve directamente afectada por las condiciones del servicio.

A partir de los resultados obtenidos, se analizan las posibilidades dentro de estos territorios, en relación con el uso de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER). Las energías renovables o alternativas son

buenas fuentes para conseguir un ahorro energético y tener la llave de un futuro energético más limpio, eficaz, seguro, autónomo y amigable con la naturaleza; estas contribuyen a la reducción del calentamiento global [6]. Hay una gran importancia en el acuerdo global para que las emisiones de gases efecto invernadero disminuyan a lo largo de los siguientes decenios.

En los últimos 20 años se ha disminuido de forma significativa los costos de instalación y operación impulsando el crecimiento de las energías renovables; se obtiene como resultado la reducción de los costos de generación [7].

Las fuentes de energía renovable resultan atractivas, entre estas el viento, que también genera las olas; el agua, de la que proceden las energías mareal y geotérmica (agua calentada por rocas subterráneas calientes); y el sol, que alimenta las placas fotovoltaicas y las centrales de energía solar, que concentran la luz solar para calentar un fluido que acciona un turbogenerador eléctrico.

Por último, se busca establecer los parámetros que va a requerir una respuesta para la iluminación. Todo el proceso y las diferentes etapas realizadas tienen como finalidad definir los requerimientos (aspectos técnicofuncionales); estos se construyen teniendo en cuenta los usos y comportamientos de las personas en las viviendas, el contexto, además de las necesidades, la mirada cultural-social y la FNCER. Adicionalmente, toda propuesta debe cumplir con los aspectos legales que rigen en el territorio nacional.

3. Resultados

Los aspectos que se pueden extraer de las visitas a las familias de la comunidad se exponen a continuación en la [tabla 2](#).

Los seres humanos establecen rutinas o prácticas diarias basadas en los servicios y recursos a su disposición. Las comunidades de las ZNI no cuentan con una iluminación continua, esto quiere decir que actividades tan sencillas como el diálogo en familia, la lectura de un libro, la costura de una prenda, el desplazamiento en una

habitación, entre otras, se ven afectadas por esa discontinuidad de iluminación.

Cuando se ilumina una habitación o espacio se crea un entorno de reunión, es la posibilidad de interacción con otro ser humano; estos detalles pasan desapercibidos cuando se ha vivido con energía eléctrica, pero la “normalidad” para las familias de las ZNI es diferente, por lo tanto, actividades sencillas se ven afectadas por las condiciones actuales de iluminación. En este sentido, lo más importante de las luminarias es poder facilitar las diferentes actividades o rutinas establecidas por cada familia, pues la discontinuidad del servicio de energía eléctrica genera interrupciones en los hábitos de los individuos ocasionando incertidumbre.

3.1. Fuente no convencional de energía renovable

La [tabla 3](#) muestra la comparación de diferentes fuentes no convencionales, se elabora con la finalidad de seleccionar la alternativa más viable o con mayor potencial para ser la fuente generadora de iluminación en la comunidad estudiada.

Tabla 2. Reflexiones de la visita a la comunidad

Actividad/práctica/categoría	Descripción
Condiciones de la iluminación	Utilizan plantas de ACPM y gasolina, mecheros artesanales de petróleo, linternas de baterías y recargables. Las diferentes alternativas son utilizadas solo cuando cuentan con el combustible fósil. Inestabilidad y discontinuidad en el servicio.
Oportunidad/horas	Uso de iluminación en las diferentes viviendas posterior a las 6 p. m., ausencia de luz natural; aproximadamente durante 3 horas requieren iluminación para realizar actividades.
Actividades diarias	Poder realizar los diferentes quehaceres dentro del hogar en cualquier horario del día o la noche.
Tiempo de compartir en familia	Los momentos de compartir en familia adquieren mucha relevancia porque la luz artificial se convierte en un punto concentrador.
Educación	Continuar con la formación académica o alguna tarea en el hogar para poder tener más oportunidades.
Desplazamientos	Las alternativas de iluminación son elementos individuales y su característica principal es la portabilidad, esta permite el desplazamiento en un espacio cerrado o abierto.
Relación con el entorno	Todas las familias de la comunidad respetan y protegen la naturaleza a su alrededor, tienen una fuerte conexión con el medioambiente.
Condiciones del entorno	Las zonas no interconectadas se caracterizan por estar dispersas, tienen más distancia entre las viviendas o fincas y no cuentan con alumbrado público, estas tres características se traducen en mayor densidad de la oscuridad en horas de la noche.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Fuentes no convencionales de energía renovable

Fuente no convencional de energía renovable	Fuente de generación	Viabilidad en zonas no interconectadas	Característica	Pro/contra
Solar fotovoltaica [8]	Sol/radiación	Proyección de radiación solar durante todo el año en el territorio permite entender el potencial de las regiones para implementar la energía solar fotovoltaica.	La radiación tiene una característica muy particular en relación con la línea del ecuador porque esta entra de forma totalmente perpendicular, la posibilidad de aprovechamiento en el territorio nacional es mayor.	Gran disponibilidad energética.
Eólica [9]	Viento	La región con mayor régimen de vientos a nivel nacional es el departamento de La Guajira.	Uso de un generador para transformar la energía cinética en energía eléctrica.	No se puede garantizar una generación continua en todo el territorio.
Geotérmica [10]	Calor interno de la tierra	En Colombia aún no se genera energía eléctrica por medio de esta fuente.	Aplicación de tecnología para convertir la energía calorífica en eléctrica.	Altos costos para su implementación, además un alto nivel de riesgo.
Oceánica [11]	Oleaje y marea Corrientes y gradientes salinos y de temperatura	La investigación en energía marina se considera joven. Caracterizar el recurso en Colombia se convierte en una necesidad imperante para poder aprovechar el recurso energético oceánico a largo plazo.	Requiere de tecnologías que permitan la conversión de la energía oceánica a electricidad.	Gran impacto ambiental.
Hidrógeno [12]	Hidrógeno como vector energético	Altos costos de producción. Todavía no es accesible a todos los consumidores.	Debe someterse a un proceso (electrólisis, termólisis, fotoelectrólisis, etc.) para separar las moléculas.	Su producción a gran escala requiere todavía un impulso en investigación.

Fuente: elaboración propia.

El Sol es la fuente primaria aplicable para este proyecto porque permanecerá esencialmente inalterable por varios miles de millones de años; ha cambiado muy poco en los últimos tres mil millones de años y se estima no cambiará mucho en los próximos tres mil millones, razón por la cual puede considerarse como una fuente renovable e inagotable de energía para la Tierra [8].

La energía solar en su forma más pura es la fuente principal de vida en el planeta, pues dirige todos los ciclos que mantienen la vida, también suministra los alimentos por medio de la fotosíntesis. La energía solar induce el movimiento del viento, del agua y el crecimiento de las plantas, es decir, es el origen de la mayoría de las fuentes de energía renovables [6].

Colombia es un país con grandes recursos para generar energías renovables; la ubicación geográfica privilegiada del territorio nacional permite pensar en la producción

eólica, solar y biomasa. La regulación para promover estos recursos les dará el ímpetu para ser parte de la canasta energética general.

Las FNCER son el camino para suplir el servicio de energía eléctrica en las ZNI porque pueden operar de forma aislada al SIN y satisfacer las necesidades de las diferentes localidades, además, garantizan la calidad del servicio. Este proyecto hace énfasis en la energía solar porque todas las localidades de las ZNI, como se ha identificado en el rastreo, tienen un potencial teórico alto en radiación solar. Hacer uso de los recursos en cada zona es una característica de estas localidades; utilizar la energía solar es continuar con este tipo de práctica.

La radiación solar es la energía emitida por el Sol que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas y partículas, es el flujo de energía que se recibe en la Tierra; estas ondas se

presentan en diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). La radiación solar que llega a la superficie terrestre está atenuada en su intensidad por diversos procesos a lo largo de su recorrido por la atmósfera terrestre [13].

La evaluación del potencial solar se puede definir como la caracterización estadística de la radiación en un lugar específico en la Tierra. Esta evaluación permite determinar la conveniencia de instalar sistemas de generación fotovoltaica o cualquier otro sistema que utilice este tipo de energía en la zona de estudio [14].

Entre tanto, para el caso de Colombia, las fuentes disponibles de información de recurso solar indican que el país cuenta con una irradiación promedio de 4,5 kW h/m²/d [8], la cual supera el promedio mundial de 3,9 kW h/m²/d. De acuerdo con el “Atlas de radiación solar” de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), regiones particulares del país presentan niveles de radiación por encima del promedio nacional. La costa pacífica tiene un promedio anual de 3,5 kW h/m²/d.

La proyección de radiación solar durante todo el año en el territorio nacional permite entender el potencial que tienen todas las regiones para implementar la energía solar fotovoltaica (FV); en el caso específico del proyecto, permite entender que la capacidad durante todos los meses del año puede ofrecer una alternativa estable y continua en el proceso de iluminación dentro de la vivienda. Esta actividad no requiere mayor potencia para funcionar, por lo tanto, aquella región con menor radiación tiene la posibilidad de hacer uso de uno o todos los tipos de radiación para generar energía eléctrica e iluminar un espacio.

3.2. Requerimientos y determinantes

Los requerimientos de la [tabla 4](#) fueron elaborados a partir del análisis de la información recolectada a lo largo del estudio. Cada uno tiene como finalidad definir parámetros para un sistema de iluminación que corresponda con necesidades específicas.

3.2.1. Funcionalidad

La energía solar FV se caracteriza por tener una eficiencia entre 75 % y 80 % que puede ir disminuyendo con el tiempo, esta variación depende del uso que se le dé al sistema. La propuesta debe transmitir de forma adecuada el correcto uso para mantener estable la eficiencia y para que la duración de todo el sistema se pueda garantizar por 5 años, todo depende de la vida útil del panel y los diodos (fuente lumínica), pues cada fabricante establece una garantía.

El sistema no debe generar ninguna interrupción o dificultar las actividades de las familias en las ZNI. Las personas han establecido rutinas alrededor de las circunstancias en las que viven; para poder integrar la nueva alternativa de iluminación en sus prácticas es necesario que esta acompañe y facilite el normal desarrollo de las actividades dentro del hogar. Además, requiere una manipulación constante por diferentes personas, en horas de la noche, porque dentro de las viviendas en ZNI viven familias y cada persona necesita iluminar un espacio del hogar o realizar alguna actividad o simplemente desplazarse, es decir, se pueden presentar accidentes donde el objeto reciba golpes o fracturas, pero estas no deben evitar el funcionamiento.

Las horas estimadas de uso diario son aproximadamente 3, por lo tanto, las demás horas del día el sistema no será utilizado y se requiere que ocupe el menor espacio posible porque las viviendas en las ZNI no tienen muchos metros cuadrados. Bajo estas condiciones, el objeto debe estar contenido en 2.250 cm³. El sistema debe presentar la posibilidad de regular la cantidad de luz por parte del usuario final porque esto permite elegir la intensidad para actividades específicas. La cantidad requerida de iluminación dentro del hogar en salas de descanso, comedores o pasillos es de 150 lux, trabajos moderados con nivel moderado de visión y cocinas manejan 300 lux y actividades como lectura continua de tipo pequeño requiere 500 lux. Este rango permite al sistema adaptarse a los diferentes hábitos de las personas en cada localidad.

3.2.2. Materialidad

El sistema va a estar sometido a temperaturas superiores a 40 °C, los materiales deben resistir temperaturas variadas porque al momento del uso los grados centígrados son menores; el valor de expansión y contracción debe poderse controlar para evitar fracturas o daños.

El valor medio de la humedad relativa promedio mensual en Colombia se encuentra en el rango de 78 % a 82 %, el sistema va a ser sometido a diferentes microclimas en las ZNI, lo que obliga a seleccionar de forma adecuada los materiales para soportar todo tipo de temperaturas y no interrumpir la función principal por daños en el sistema.

3.2.3. Seguridad

El sistema no debe causar ningún daño a las personas cuando lo estén utilizando o cuando no esté en uso. La seguridad de las personas es un aspecto esencial, el sistema no puede contar con vértices pronunciados porque estos pueden causar daños físicos al usuario.

Tabla 4. Requerimientos (*product design specification*)

Tipo	Necesidad	Requerimiento
Funcionalidad	El sistema debe ser funcional	R.1. Resistir recargas solares durante 5 años.
		R.2. Permitir el desarrollo normal de las actividades en el hogar.
		R.3. Resistir golpes y fracturas.
		R.4. Estar dentro de un volumen de 2.250 cm ³ .
		R.5. Estar en un rango de 150 a 500 lux.
Materialidad	Los materiales utilizados deben resistir las condiciones de uso y contexto	R.6. Resistir los cambios de temperatura.
		R.7. Resistir humedad entre 78 % y 82 %.
		R.8. Resistente al impacto.
		R.9. Resistente a radiación solar.
Seguridad	Evitar afectaciones a las personas y al medioambiente durante el uso	R.10. Evitar daño físico a las personas.
		R.11. Componentes biodegradables.
		R.12. Evitar ángulos agudos o vértices muy pronunciados.
Usabilidad	Fácil movilidad o traslado	R.13. Permitir trasladarse con la luminaria en diferentes espacios.
		R.14. Portátil.
		R.15. Permitir ser manipulado o accionado por menores.
Ergonómica	Adaptarse al uso por seres humanos	R.16. Sencillo agarre palmar.
		R.17. Uso por diferentes personas dentro de una vivienda.
Producción	Producción con el menor impacto	R.18. Fabricación con tecnologías disponibles en el mercado nacional.
		R.19. Emplear el menor consumo de energía eléctrica posible.
Mantenimiento	Mantenimiento sencillo, económico y rápido	R.20. Permitir limpieza de los componentes para mayor durabilidad.
		R.21. Modular.
Estético	Agradable para el usuario final	R.22. Forma de rápido reconocimiento.
		R.23. Manejar colores neutrales.

Fuente: elaboración propia.

Las personas adultas no son las únicas que van a manipular el objeto, es decir, cualquier persona que viva en el hogar debería poder hacer uso de la luminaria sin sufrir daño físico.

Los componentes del sistema no deben generar afectación al medioambiente al finalizar la vida útil del objeto; una característica importante es ser biodegradable en los suelos colombianos. Si todas las partes no pueden contar con esa característica, esas piezas deben ser reutilizables o en un caso extremo deben ser recogidas por entidades expertas en desarme y disposición final de residuos, como lo es el caso particular de las baterías electroquímicas utilizadas para el almacenamiento de energía eléctrica.

3.2.4. Usabilidad

La luminaria es utilizada por las personas para diferentes actividades, algunas no se realizan en el mismo lugar, por lo tanto, debe permitir el traslado o desplazamiento con el mismo objeto. Evitar cables o elementos que impidan la movilidad de la persona.

La luminaria no debe superar los 4 kg, cuanto menor peso, la movilidad es más sencilla y facilita la realización de las diferentes actividades, por lo tanto, el objeto debe ser portátil permitiendo trasladarse con él. Tanto los materiales como la forma deben dar a entender la versatilidad de usuarios a los que se dirige la luminaria.

3.2.5. Ergonomía

El agarre principal de la luminaria se debe dar por medio de a mano llena, este va a facilitar el uso por diferentes personas. Se propone el agarre sencillo para tratar de disminuir los riesgos de accidentes. El objeto debe estar adaptado para ser utilizado por diferentes personas sin generar lesiones.

3.2.6. Producción

Hacer uso de las tecnologías nacionales ayuda a tener una luminaria al alcance de las personas. La necesidad de un menor consumo energético en producción es acorde a una producción limpia, por lo tanto, la luminaria propuesta debe tener el menor impacto posible al medioambiente.

3.2.7. Mantenimiento

La luminaria estará expuesta a espacios exteriores en zonas rurales donde puede ensuciarse con facilidad o contaminarse por algún agente externo; cada usuario debe poder limpiar el objeto para tratar de evitar daños a largo plazo o que la eficiencia disminuya por un inadecuado mantenimiento.

En caso de presentar alguna falla o daño en los componentes se debe garantizar que las piezas se puedan reemplazar en el menor tiempo posible porque la luminaria no puede dejar de cumplir su labor. Lo anterior se puede cumplir con facilidad al construir por componentes la luminaria; las piezas modulares permiten cambios rápidos sin interrumpir el funcionamiento.

3.2.8. Estética

El diseño del debe transmitir con facilidad la función que cumple para que pueda ser reconocido por cualquier persona dentro del hogar en las ZNI. La elección de los colores debe estar centrada en evitar que estos reflejen la luz solar mientras el objeto se esté cargando; la luz solar concentrada en un solo punto puede causar daños a las personas, a los bienes materiales o al mismo objeto durante el momento de la carga.

Las bases legales para tener en cuenta en el desarrollo de una propuesta se muestran a través de las determinantes del estudio, y están construidas a partir de la ley, el artículo o título y una breve descripción. Aquí se terminan de construir los parámetros para el sistema de iluminación requerido en las ZNI del territorio nacional, como se muestra en la [tabla 5](#).

4. Conclusiones

La iluminación hace parte del día a día del ser humano; para las comunidades en ZNI en particular se convierte en un facilitador para la realización de actividades dentro y fuera del hogar, sin embargo, cuentan con alternativas precarias para la iluminación con base en combustibles fósiles, lo que se traduce en un impedimento, ya que no hay certeza en la calidad y la oportunidad del suministro de energía.

Se evidenció en el estudio la estrecha relación del ser humano con la luz natural y artificial para poder realizar actividades o prácticas diarias tan sencillas como la interacción entre las personas, las labores escolares y la lectura, los quehaceres y los desplazamientos. Lo anterior se ve condicionado por la discontinuidad o ausencia de iluminación. Cada familia tiene rutinas establecidas dentro del hogar que se deben llevar a cabo, como organizar las habitaciones, realizar la limpieza, reparar algún daño, entre otras, y estas comunidades no pueden continuar condicionando sus actividades, incluidas aquellas que generan ingresos para la familia, a horarios limitados o a la disponibilidad de energía para la iluminación.

Cuando no se cuenta con una iluminación adecuada y oportuna se pierde el beneficio que genera esa extensión de los horarios y la posibilidad de congregarse a los integrantes de un hogar para el diálogo, la planeación, el compartir experiencias y conocimientos o simplemente contar anécdotas e historias, lo cual implica cierta afectación en las relaciones sociales y familiares.

La formación académica es un derecho con el que todos los seres humanos deberían contar, pero al no tener una iluminación adecuada las horas de estudio se limitan solo a las horas cuando hay luz natural, por tanto, facilitar el estudio en horas de la noche es brindar más oportunidades a las comunidades.

La formación académica es un derecho con el que todos los seres humanos deberían contar, pero al no tener una iluminación adecuada las horas de estudio se limitan solo a las horas cuando hay luz natural, por tanto, facilitar el estudio en horas de la noche es brindar más oportunidades a las comunidades.

Los desplazamientos dentro o fuera del hogar son una práctica tan sencilla que podría parecer irrelevante, pero para estas comunidades implica un desafío cuando no se cuenta con un objeto para iluminar durante la noche.

Tabla 5. Matriz de determinantes legales (1 de 2)

Ley	Artículo/título	Descripción
Ley 142 de 1994 [15]	Artículo 2.º Intervención del estado en los servicios públicos	2.1. Garantizar la calidad del bien objeto del servicio público y su disposición final para asegurar el mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios.
		2.2. Ampliación permanente de la cobertura mediante sistemas que compensen la insuficiencia de la capacidad de pago de los usuarios.
		2.4. Prestación continua e ininterrumpida, sin excepción alguna, salvo cuando existan razones de fuerza mayor o caso fortuito o de orden técnico o económico que así lo exijan.
		2.5. Prestación eficiente.
Decreto 348 de 2017	La prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica y sus actividades complementarias constituyen servicios públicos esenciales y el Estado intervendrá en los mismos a fin de, entre otros, <i>garantizar la calidad del bien y su prestación continua, ininterrumpida y eficiente.</i>	
Ley 1715 del 2014 [16]	Artículo 1.º Objeto	Promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético
	Artículo 5.º Definiciones	2. Autogeneración a pequeña escala. Autogeneración cuya potencia máxima no supera el límite establecido por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).
		3. Desarrollo sostenible. Aquel desarrollo que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades, por lo menos en las mismas condiciones de las actuales.
		5. Fuentes no convencionales de energía (FNCE). Son aquellos recursos de energía disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Se consideran FNCE la energía nuclear o atómica y las FNCER.
		Se consideran FNCER la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar y los mares. Otras fuentes podrán ser consideradas como FNCER según lo determine la UPME.
		8. Zonas no interconectadas (ZNI). Se entiende por zonas no interconectadas a los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al sistema interconectado nacional (SIN).
Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) [17]	Artículo III	En el presente estatuto, por “energías renovables” se entenderán todas las formas de energía producidas a partir de fuentes renovables y de manera sostenible, lo que incluye, entre otras: <ol style="list-style-type: none"> 1. La bioenergía 2. La energía geotérmica 3. La energía hidráulica 4. La energía marina, incluidas la energía obtenida de las mareas y de las olas y la energía térmica oceánica 5. La energía solar y 6. La energía eólica.
Resolución UPME [8]	281 de 2015	Se definió un (1) MW como límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala, que corresponde a la capacidad instalada del sistema de generación del autogenerador.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Matriz de determinantes legales (2 de 2)

Ley	Artículo/título	Descripción
Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE [18]	Artículo 16.º Iluminación	Una buena iluminación, además de ser un factor de seguridad, productividad y de rendimiento en el trabajo, mejora el confort visual y hace más agradable y acogedora la vida. Si se tiene en cuenta que por lo menos una quinta parte de la vida del hombre transcurre bajo alumbrado artificial.
	16.1 Diseño de Iluminación Decreto 348 del 2017 Artículo 1.º Objeto	a) Suministrar una cantidad de luz suficiente para el tipo de actividad que se desarrolle.
		c) Controlar las causas de deslumbramiento.
		d) Prever el tipo y cantidad de fuentes y luminarias apropiadas para cada caso particular teniendo en cuenta sus eficiencias lumínicas y su vida útil.
		e) Utilizar fuentes luminosas con la temperatura y reproducción del color adecuado a la necesidad.
	f) Propiciar el uso racional y eficiente de la energía eléctrica requerida para iluminación, utilizando fuentes de alta eficacia lumínica e iluminando los espacios que efectivamente requieran de iluminación.	
16.2 Instalación, operación y mantenimiento de los sistemas de iluminación	a) Debe existir suministro ininterrumpido para iluminación en sitios y áreas donde la falta de esta pueda originar riesgos para la vida de las personas, como en áreas críticas y en los medios de egreso para evacuación de la edificación.	
	f) Se deben atender las recomendaciones de mantenimiento y sustitución oportuna de las fuentes lumínicas cuando sus niveles de iluminación no garanticen los mínimos niveles requeridos.	
Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. RETILAP [19]	203.3.2 Curva de mortalidad o de vida promedio de las fuentes luminosas eficiente	En este tipo de curva debe determinarse el porcentaje de fuentes que siguen en operación después de un periodo o número de horas de servicio.
	203.4 Características de reproducción cromática y de temperatura de color	Clasificación de las bombillas en función de su índice de reproducción cromática (Ra o CRI). En climas cálidos, se debe utilizar fuentes de mayores temperaturas de color (>5.000 K), mientras que en climas fríos se recomienda el uso de fuentes con temperaturas de color más cálidos (<3.300 K).
	210.1 Iluminación	a) En todo diseño se deben buscar las mejores condiciones de iluminación usando fuentes luminosas de la mayor eficacia disponible, conjuntos eléctricos de alta eficiencia y luminarias con la fotometría más favorable en términos de factor de utilización.
	210.3 Uso racional de energía en iluminación	e) Adaptar la iluminación a las necesidades, prefiriendo la iluminación localizada, además de ahorrar energía permite conseguir ambientes más confortables.
	420.1 Requisitos generales del diseño	El diseño de la iluminación debe estar íntimamente ligado con el área que va a ser iluminada. Los factores a tener en cuenta son la forma y tamaño de los espacios, los colores y las reflectancias de las superficies del salón, la actividad a ser desarrollada, la disponibilidad de la iluminación natural.
a) El índice de reproducción del color, lo natural que aparecen los objetos bajo la luz. b) La temperatura del color, la apariencia de calidez o frialdad de la luz. c) El tamaño y forma de la fuente luminosa y de la luminaria. d) Los niveles de iluminancia y coeficiente de uniformidad; estos valores se deben diseñar y medir sobre las zonas de trabajo del recinto. e) El deslumbramiento.		

Fuente: elaboración propia.

Poder llegar al espacio donde se descansa para terminar el día sin golpearse o sufrir un accidente es algo a lo que se enfrentan a diario en las ZNI.

Permitir la realización de todas las actividades antes mencionadas debe ser una de las prioridades para mejorar las condiciones de vida, por esto, una iluminación adecuada es fundamental para su normal desarrollo;

además, es importante revelar la importancia que tienen los entornos en los que las comunidades de las ZNI residen y cómo ellos proveen medios adecuados a las características geográficas para resolver sus propios problemas manteniendo una relación armónica con el ecosistema, que es evidentemente para ellos generador de vida.

El establecimiento de los requerimientos y determinantes para el desarrollo de propuestas de diseño de sistemas de iluminación es un primer paso indispensable para resolver una de las necesidades más sentidas de las comunidades en las ZNI.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la comunidad negra de Chucheros, ensenada El Tigre, en Bahía Málaga, Buenaventura por permitir la realización del estudio con las familias de la comunidad.

Referencias

- [1] J. I. Del Castillo Campos, “Panorama Energético Mundial 2017”, *Agencia Internacional de la Energía*, pp. 167-172, 2017.
- [2] E. E. Gaona, C. L. Trujillo, y J. A. Guacaneme, “Rural microgrids and its potential application in Colombia”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 125-137, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.176>.
- [3] J. H. F. Acosta, D. T. Orozco, y G. A. C. Quintero, “¿Ha sido efectiva la promoción de soluciones energéticas en las zonas no interconectadas (ZNI) en Colombia?: un análisis de la estructura institucional”, *Cuadernos de Administración*, vol. 22, no. 38, pp. 219-245, 2009.
- [4] Unidad de Planeación Minero Energética. Ministerio de Minas y Energía. Colombia., “Caracterización demanda energética PERS Chocó,” 2016.
- [5] N. A. García, R. H. T. Holguín, and D. A. O. Urrea, *ZONAS NO INTERCONECTADAS - ZNI Diagnóstico de la prestación del servicio de energía eléctrica 2017*. Colombia: Superintendencia de Servicios Públicos y domiciliarios, 2017.
- [6] D. A. Arenas Sánchez y H. S. Zapata Castaño, “Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones”, tesis de grado, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, 2011.
- [7] J. A. Alarcón Villamil, S. R. Rivera Rodríguez, y F. Santamaría Piedrahita, “Análisis del mercado Spot con representación estocástica para generación eólica y fotovoltaica”, *Rev. UIS Ing.*, vol. 17, no. 1, pp. 155-162, 2018, doi: <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n1-2018014>.
- [8] UPME, IDEAM, *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. Bogotá, Colombia, Colombia.: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2005.
- [9] J. J. S. Gutiérrez, “Desarrollo de la energía eólica en Colombia”, tesis de grado, Universidad de América, Colombia, 2016.
- [10] C. A. Valero, G. Rodríguez Ospina, y C. E. G. Idárraga, *Geotermia en Colombia*. Colombia: Ministerio de Minas y Energía. Servicio Geológico Colombiano, 2019.
- [11] R. R. Torres Parra y C. A. Andrade Amaya, “Potencial en Colombia para el Aprovechamiento de la Energía No Convencional de los Océanos”, *Boletín Científico CIOH*, no. 24, pp. 11-25, 2006, doi: <https://doi.org/10.26640/22159045.145>.
- [12] K. Sánchez, “Energía Renovable: Hidrógeno como Vector Energético”, tesis doctoral, Universidad Santiago de Cali, Colombia, 2019.
- [13] H. O. Benavides Ballesteros, O. Simbaqueva Fonseca, y H. J. Zapata Lesmes, Colciencias, *Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia*. Colombia: IDEAM, UPME, 2017.
- [14] P. Vergara Barrios, J. Rey López, G. Osma Pinto, y G. Ordóñez, “Evaluación del potencial solar y eólico del campus centra de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga, Colombia”, *Rev. UIS Ing.*, vol. 13, no. 2, pp. 49-57, 2014.
- [15] *Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios*, Congreso de Colombia, Ley 142 de 1994.
- [16] *Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*, Congreso de Colombia, Ley 1715 de 2014.

[17] *Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables*, IRENA, 2009. [En línea] Disponible en: <https://www.irena.org/statutevisionmission>

[18] *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE*, Ministerio de Minas y Energía, Resolución Número 18 1294: 2008.

[19] *Reglamento Técnico De Iluminación y Alumbrado Público. RETILAP*, Ministerio De Minas Y Energía, Resolución Número 4 0122: 2016.