

Sistema regulable de iluminación autónomo para la realización de actividades con demandas visuales específicas para viviendas en zonas rurales con difícil acceso a conexión eléctrica

Oscar Armando Niño Picon

Trabajo de Grado para Optar el Título de diseñador industrial

Director

Dr. José Miguel Higuera Marín

Diseñador Industrial

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas  
Escuela de Diseño Industrial  
Diseño Industrial Bucaramanga

2025

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	14
1. Pregunta de diseño .....	15
2. Objetivos .....	15
1.1 Objetivo General .....	15
1.2 Objetivos Específicos .....	15
2. Planteamiento del problema .....	16
2.1 Descripción del problema .....	16
2.2 Contextos que originan la situación de estudio .....	18
2. Justificación .....	18
3. Alcances .....	21
4. Antecedentes .....	22
4.1 Estado del arte .....	22
4.1.1 Lámparas de Energía Solar .....	22
4.1.2 Lámparas a Pilas .....	24
4.1.3 Velas .....	25
4.1.4 Lámparas de Dinamo o Manivela .....	26
4.1.5 Lámparas de Keroseno .....	28
4.1.6 Brechas Tecnológicas .....	29
4.1.7 Relevancia del Diseño Modular y Materiales Reciclables .....	29
4.1.8 Autonomía y Ajuste de Intensidad .....	30

4.1.9 Incorporación de Energías Híbridas.....	30
4.1.10 Factores de Seguridad y Salud.....	30
4.2 Marco teórico .....	31
4.3 Antecedentes de la situación de estudio.....	34
5. Metodología .....	35
6. Empatizar .....	35
6.1 Identificar necesidades.....	35
6.1.1 Mapa de empatía .....	36
6.1.2 Usuario arquetipo .....	38
6.1.3 Lista de deseos .....	40
6.1.4 Customer journey .....	41
6.2 Análisis de referentes .....	44
6.2.1 Fishbone .....	44
6.2.2 Fast (Function Analysis System Technique) .....	45
6.2.3 Qfd .....	46
7. Definir .....	48
7.1 Vigilancia tecnológica.....	48
7.1.1 Benchmarking .....	48
7.1.2 Impacto en el Proyecto.....	50
7.1.3 Matriz de tendencias .....	50
7.1.4 Modelo Kano.....	51
7.2 Definir requerimientos .....	53
7.2.1 Prs (Product Requirements Specification) .....	53

7.3 Definir el modelo de negocios .....	56
7.3.1 Canvas.....	57
7.3.2 Porter.....	58
7.3.3 PESTEL .....	59
8. Diseño del producto .....	60
8.1 Brief del producto .....	61
8.1.1 Contexto del Proyecto.....	61
8.1.2 Público Objetivo .....	62
8.1.3 Propuesta de Valor.....	63
8.2 <i>Moodboard</i> .....	65
8.3 Alternativas .....	66
8.3.1 Panel de Diodos Fotovoltaicos.....	66
8.3.2 Sistema de Iluminación con Batería de Dinamo Manual.....	67
8.3.3 Sistema de Iluminación de Batería Salina .....	68
8.3.4 Diodos Solares + Batería Salina .....	69
8.3.5 Panel Solar Casero + Dinamo Manual .....	70
8.3.6 Fibra Óptica Solar + Generador Piezoeléctrico .....	70
8.3.7 Turbina Eólica Casera + Batería Salina .....	71
8.4 <i>Conceptboard</i> .....	71
8.5 Evaluación de alternativas (fuente de energía) .....	72
8.5.1 Análisis de las Alternativas Actuales.....	72
8.5.2 Ponderación de Parámetros.....	74
8.6 Evaluación de Alternativas (Regulación de Iluminación) .....	79

8.6.1 Alternativas Evaluadas.....	79
8.6.2 Selección de la Alternativa Óptima .....	82
9. Elaboración de prototipo.....	84
9.1 Batería de aluminio-aire.....	84
9.2 LED y componentes eléctricos .....	84
9.3 Sistema de regulación de la iluminación .....	85
9.4 Conexiones eléctricas.....	85
9.5 Paso a paso para la realización del prototipo .....	86
9.5.1 Paso 1: Preparación de la batería de aluminio-aire .....	86
9.5.2 Paso 2: Bobinado del Toroide.....	87
9.5.3 Paso 3: Conexión del Circuito .....	88
9.5.4 Paso 4: Implementación del sistema de regulación de iluminación .....	89
9.5.5 Paso 5: Finalización y pruebas.....	89
9.5.6 Consideraciones adicionales .....	90
9.6 Registro fotográfico del prototipo.....	90
10. Gestión del producto.....	91
10.1 Matriz de riesgos FMEA.....	91
10.2 Costos por función .....	92
11. Testing del producto.....	93
11.1 Test de usabilidad.....	93
11.1.1 Procedimiento: .....	94
Resultados cuantitativos: .....	94
11.2 Protocolos de validación .....	96

11.2.1	Objetivo.....	96
11.2.2	Metodología.....	97
11.2.3	Instrumentos y recursos .....	97
11.2.4	Criterios de validación y criterios de aceptación .....	98
11.2.5	Registro de datos y análisis estadístico.....	99
11.2.6	Seguridad y consideraciones especiales.....	99
11.2.7	Conexión con requisitos del diseño .....	100
11.3	Validación del prototipo.....	100
11.3.1	Resultados de iluminancia .....	100
11.3.2	Resultados de autonomía .....	101
11.3.3	Resultados de tiempos de montaje.....	102
11.3.4	Conclusiones de la validación.....	103
11.3.5	Mejoras propuestas al prototipo.....	104
11.4	Protocolos de verificación.....	105
11.4.1	Objetivo.....	105
11.4.2	Metodología.....	106
11.4.3	Instrumentos y recursos .....	108
11.4.4	Criterios de validación y criterios de aceptación .....	109
11.4.5	Registro de datos y análisis estadístico.....	110
11.4.6	Seguridad y consideraciones específicas .....	110
11.5	Verificación del prototipo final.....	112
11.5.1	Intensidad lumínica y uniformidad .....	112
11.5.2	Regulación de intensidad.....	114

11.5.3 Durabilidad mecánica del regulador .....	115
11.5.4 Facilidad de mantenimiento.....	116
11.5.5 vida útil hasta fallo.....	117
11.5.6 Cuestionario de retroalimentación .....	119
11.5.7 Conclusión .....	120
12. Sostenibilidad.....	122
12.1 Mapa de sostenibilidad .....	122
12.2 Matriz de riesgo .....	124
Referencias Bibliográficas .....	127
Apéndices.....	128

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Niveles de iluminación recomendados 2010. ....	33
Tabla 2 Lista de deseos. ....	40
Tabla 3 Customer journey. ....	42
Tabla 4 Matriz de tendencias. ....	51
Tabla 5 Modelo kano. ....	52
Tabla 6 Canvas. ....	57
Tabla 7 Pestel. ....	59
Tabla 8 Análisis de las Alternativas. ....	73
Tabla 9 Evaluación de alternativas (fuente de energía). ....	75
Tabla 10 Evaluación de alternativas (sistema de regulación). ....	83
Tabla 11 Registro de resultados promedio. ....	95
Tabla 12 Criterios de validación y criterios de aceptación. ....	98
Tabla 13 Variables de verificación, criterios de aceptación. ....	109
Tabla 14 Medición de intensidad lumínica y uniformidad. ....	113
Tabla 15 Evaluación del mecanismo de regulación. ....	114
Tabla 16 Ensayo de durabilidad mecánica. ....	115
Tabla 17 Prueba de mantenimiento. ....	116
Tabla 18 Resumen de vida útil hasta fallo (uso prolongado: 4 h/día). ....	117
Tabla 19 Resultados resumidos del cuestionario de verificación. ....	119
Tabla 20 Mapa de sostenibilidad. ....	123

Tabla 21 Matriz de riesgos..... 124

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Lámpara de energía solar.....	23
Figura 2 Lámpara de pilas.....	24
Figura 3 Velas.....	25
Figura 4 Lámpara de manivela.....	27
Figura 5 Lámpara de keroseno.....	28
Figura 6 Porter.....	58
Figura 7 Moodboard.....	65
Figura 8 Conceptboard.....	71
Figura 9 Mecanismo de Persiana.....	80
Figura 10 Diafragma Manual.....	81
Figura 11 Mecanismo de aberturas.....	82
Figura 12 Batería aluminio aire.....	87
Figura 13 Toroide bobinado.....	88
Figura 14 Circuito.....	88
Figura 15 Montaje del sistema.....	89

**Lista de Apéndices**

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca

UIS

## Resumen

**Título:** Sistema regulable de iluminación autónomo para la realización de actividades con demandas visuales específicas para viviendas en zonas rurales con difícil acceso a conexión eléctrica

**Autor:** Oscar Armando Niño Picon

**Palabras Clave:** zonas no interconectadas, Iluminación, Energía renovable, mecanismo de desarrollo limpio, desarrollo sostenible.

**Descripción:** Este proyecto surge de la necesidad de mejorar las condiciones de iluminación en viviendas rurales con acceso limitado o nulo a conexión eléctrica, donde las actividades cotidianas requieren niveles adecuados de luz para su correcta ejecución. A partir de esta problemática, se plantea el desarrollo de un sistema autónomo y regulable que permita adaptar la intensidad luminosa según las demandas visuales específicas de cada tarea, contribuyendo así a mejorar el desempeño, la seguridad y el bienestar de los usuarios.

El presente proyecto busca ofrecer una solución a la falta de iluminación adecuada en estas zonas rurales. El enfoque estará en el uso eficiente de energía renovable y la reutilización de residuos para diseñar un producto sostenible que proporcione una iluminación ajustable, mejorando así la calidad de vida de los usuarios.

Se trabajará mediante una metodología mixta, definiendo el Design Thinking como base metodológica, implementando la totalidad de sus etapas y complementándola con enfoques orientados al desarrollo de productos sostenibles, asegurando así que se aborden tanto la creatividad como la sostenibilidad en el proceso

### Abstract

**Title:** Autonomous and adjustable lighting system for performing tasks with specific visual demands in rural households with limited access to electrical connection

**Author:** Oscar Armando Niño Picon

**Key Words:** non-interconnected zones, lighting, renewable energy, clean development mechanism, sustainable development.

**Description:** This project arises from the need to improve lighting conditions in rural households with limited or no access to electrical connection, where daily activities require adequate light levels for proper execution. Based on this issue, the project proposes the development of an autonomous and adjustable lighting system that allows users to adapt light intensity according to the specific visual demands of each task, contributing to better performance, safety, and overall well-being.

The project aims to provide a solution to the lack of adequate lighting in these rural areas. The focus will be on the efficient use of renewable energy and the reuse of waste materials to design a sustainable product that offers adjustable lighting, thereby improving the users' quality of life.

A mixed methodology will be applied, using Design Thinking as the main methodological framework. All its stages will be implemented and complemented with approaches aimed at developing sustainable products, ensuring that both creativity and sustainability are addressed throughout the process.

## Introducción

La iluminación es un elemento fundamental para la realización de actividades cotidianas, pues influye directamente en el confort, el desempeño y la seguridad de las personas. En muchas viviendas rurales con acceso limitado o nulo a conexión eléctrica, las condiciones de iluminación resultan insuficientes para tareas como estudiar, cocinar, trabajar o desplazarse dentro del hogar, afectando el bienestar y la eficiencia en la vida diaria. Esta situación evidencia la necesidad de contar con soluciones accesibles y adaptadas a las particularidades del contexto rural.

A partir de esta problemática surge la necesidad de diseñar un sistema de iluminación que sea autónomo y funcional en ausencia de red eléctrica, y que además permita regular la intensidad luminosa según las demandas visuales de cada actividad. Este enfoque responde al interés de mejorar la calidad de vida de los usuarios, garantizando un entorno más seguro y confortable.

Diversas iniciativas han demostrado el potencial del uso de fuentes no convencionales de energía para generar iluminación, especialmente en zonas rurales. Estas experiencias evidencian que la sostenibilidad, la reutilización de materiales y el uso eficiente de recursos pueden integrarse en el diseño de productos que brinden beneficios reales. En este proyecto, dichos principios se incorporan mediante el uso de energía renovable y materiales accesibles para la fabricación del sistema.

El propósito de este trabajo es desarrollar un sistema regulable de iluminación autónomo que satisfaga las necesidades visuales específicas de los habitantes de viviendas rurales sin

acceso confiable a energía eléctrica. La pregunta que orienta este proyecto es: ¿Cómo diseñar un sistema de iluminación autónomo y regulable que responda a las demandas visuales específicas presentes en viviendas rurales con difícil acceso a conexión eléctrica?

La relevancia del proyecto radica en el impacto social y práctico que ofrece una solución de este tipo, al beneficiar directamente a las familias de zonas rurales mediante una alternativa confiable y sostenible para sus actividades nocturnas. Para abordar el problema se emplea el enfoque metodológico del Design Thinking, complementado con criterios de diseño sostenible, lo que permite integrar eficiencia energética, accesibilidad y facilidad de mantenimiento en una solución pertinente y contextualizada.

## **1. Pregunta de diseño**

¿Cómo puede desarrollarse un sistema de iluminación autónomo y regulable que proporcione condiciones visuales adecuadas para la realización de tareas en viviendas rurales con acceso limitado a la red eléctrica, considerando criterios de sostenibilidad y accesibilidad económica?

## **2. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Elaborar un dispositivo de iluminación autónomo regulable para viviendas de zonas rurales con difícil acceso a red eléctrica.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Definir las necesidades y limitaciones económicas en las viviendas de zonas rurales.

- Analizar dispositivos desarrollados para apoyar comunidades sin servicios de electricidad.
- Desarrollar y validar el prototipo del sistema de iluminación, asegurando su funcionalidad y desempeño en condiciones reales.
- Realizar un estudio comparativo de la capacidad y funcionalidad del dispositivo desarrollado en comparación con los dispositivos similares disponibles en el mercado actual.
- Identificar posibles aspectos ambientales derivados de la producción y utilización del dispositivo desarrollado.

## **2. Planteamiento del problema**

### **2.1 Descripción del problema**

La energía lumínica tiene un papel importante en la realización de actividades cotidianas, esta importancia ha ido incrementando con el tiempo debido al desarrollo de investigaciones y proyectos para encontrar rangos de la cantidad “ideal” de luz que se requiere para realizar distintas actividades sin afectar el cuerpo humano, ya sea por falta de exposición o sobre exposición a esta.

La luz en interiores y en los espacios habitados, es lo que permite realizar nuestras actividades ya sea trabajos específicos o en actividades del día a día. La iluminación en zonas poco transitadas o que no son para actividades que necesitan un esfuerzo visual requieren una iluminancia entre 20 y 300 lux, iluminación general para trabajos de oficina en interiores requiere una iluminación entre 500 lux y 2000 lux, iluminación adicional en tareas visuales exactas va desde los 3000 a 20000 lux (Retilap, 2010).

Los estudios que se han realizado para llegar a estas cantidades de luz en actividades específicas se han realizado teniendo en cuenta aspectos que influye no solo en el tipo de

iluminación sino cómo afecta a quienes están expuestos a esta, tienen en cuenta las demandas visuales, demandas emocionales, demandas estéticas, demandas de seguridad, condiciones de espacio, intereses, variables económicas y restricciones (Retilap, 2010).

Pasando a la problemática en la cual se enfoca este trabajo, la mayor dificultad que enfrentan las viviendas en zonas rurales con acceso limitado o nulo a conexión eléctrica es la falta de un sistema de iluminación adecuado para realizar actividades cotidianas. En muchas de estas áreas, la disponibilidad de electricidad es intermitente o inexistente, y cuando está presente, suele ofrecerse solo por unas pocas horas al día. Esta situación representa una oportunidad para intervenir desde el diseño mediante el desarrollo de soluciones de iluminación autónomas que respondan a las necesidades reales de uso, considerando aspectos como duración operativa, mantenimiento, adaptabilidad y viabilidad económica en el contexto rural.

El enfoque actual de los gobiernos se centra en la distribución del servicio eléctrico, dejando de lado aspectos cruciales como la salud y el bienestar de las personas. En este contexto, es fundamental desarrollar soluciones de iluminación sostenibles y adaptables que no solo ofrezcan una fuente de luz confiable, sino que también mejoren la calidad de vida de los usuarios al permitir ajustes en la intensidad de la iluminación para satisfacer sus demandas visuales específicas.

Las comunidades de estas zonas han desarrollado diversas alternativas para compensar la falta de energía y dependen de métodos improvisados de iluminación para realizar sus actividades cotidianas. Sin embargo, estas soluciones carecen de control sobre la intensidad luminosa y no están diseñadas para responder a las demandas visuales de tareas específicas. Aunque pueden funcionar en situaciones puntuales, su alcance es limitado. Por ello, este

proyecto busca ampliar las posibilidades de uso mediante un sistema que permita regular el nivel de luz según la actividad, mejorando la comodidad y el desempeño visual de los usuarios.

## **2.2 Contextos que originan la situación de estudio**

Las viviendas ubicadas en zonas rurales con acceso limitado o nulo a conexión eléctrica suelen encontrarse lejos de centros urbanos o áreas metropolitanas, lo que dificulta la instalación y el mantenimiento de infraestructura eléctrica convencional. Además, la baja densidad poblacional y la complejidad geográfica de estas regiones hacen menos viable económicamente la expansión de las redes por parte de las compañías de electricidad (Legros et al., 2009). Estas condiciones generan una dependencia de métodos de iluminación improvisados o de fuentes de energía de disponibilidad irregular. Por ello, se vuelve necesario explorar alternativas que puedan responder a las particularidades del contexto rural y mejorar las posibilidades de acceso a iluminación adecuada sin requerir la integración completa al Sistema Interconectado Nacional (SIN).

## **2. Justificación**

El desarrollo de un sistema de iluminación autónomo regulable responde a la necesidad de mejorar las condiciones de vida en comunidades rurales aisladas. Al incorporar materiales reciclables y tecnologías sostenibles, se busca ofrecer una solución accesible y respetuosa con el medio ambiente, contribuyendo a la seguridad, educación y productividad de estas comunidades.

El desarrollo de un sistema para regular la iluminación utilizando elementos reutilizables en viviendas de zonas sin red eléctrica responde a la necesidad de mejorar las condiciones de

vida en estas áreas, donde la falta de acceso a la energía eléctrica limita significativamente las actividades cotidianas y el bienestar general.

Según la International Energy Agency (IEA, 2024), aproximadamente el 30% de la población rural en el mundo carece de acceso a electricidad, lo que representa un gran obstáculo para el desarrollo socioeconómico en estas comunidades. En zonas sin electricidad, se utilizan alternativas como lámparas de keroseno, que no solo son costosas sino también peligrosas.

En algunas regiones, el gasto en queroseno puede representar entre el 10% y el 25% del presupuesto mensual de los hogares, un costo significativo para familias de bajos ingresos. Además, estas lámparas generan riesgos para la salud, como enfermedades respiratorias, irritaciones oculares y un alto índice de quemaduras severas; en países como India, más de 2.5 millones de personas sufren quemaduras graves al año por accidentes relacionados con su uso (African Climate Reporters, 2023). Frente a esta situación, el proyecto plantea el desarrollo de una alternativa de iluminación que pueda disminuir la dependencia de métodos inseguros y contribuir a mejorar las condiciones de uso y bienestar en los hogares rurales.

En muchas comunidades aisladas, las fuentes de iluminación tradicionales, como las velas o las lámparas de queroseno, no solo son insuficientes para la realización de tareas que requieren un nivel adecuado de iluminación, sino que también representan riesgos para la salud y la seguridad. La implementación de un sistema con materiales reutilizables promueve la sostenibilidad y economía circular al reducir residuos y aprovechar recursos locales. Este enfoque asegura la viabilidad tecnológica y económica a largo plazo, favoreciendo la integración social en comunidades rurales.

Al momento de realizar una tarea específica y si la iluminación no es la adecuada para dicha tarea, se pueden generar efectos negativos, no solo físicamente sino mentalmente también.

físicamente, una iluminación inadecuada puede causar fatiga visual, dolores de cabeza, y ojos irritados, lo que reduce la capacidad de concentración y en casos prolongados puede generar problemas de visión a largo plazo. Además, la fatiga visual está frecuentemente relacionada con dolores musculares, ya que la persona tiende a adoptar posturas incorrectas para intentar mejorar la visibilidad, lo que puede causar dolor en el cuello y la espalda. (Wang y Zou, 2022)

Desde el punto de vista psicológico, una mala iluminación puede provocar una disminución en el estado de ánimo y aumentar los niveles de estrés. Los ambientes mal iluminados pueden llevar a una sensación de incomodidad e irritabilidad, lo que a su vez puede reducir la productividad y generar una sensación de agotamiento general. Bommel y van den Beld (2004) afirman que la falta de luz natural, en particular, se ha vinculado a trastornos del sueño, como el insomnio, que a su vez agrava el cansancio y afecta la salud mental general.

Estos efectos dejan ver la importancia de optimizar las condiciones de iluminación en los lugares de trabajo o estudio, para prevenir estos problemas y promover un ambiente que favorezca tanto la salud física como el bienestar psicológico.

Este proyecto no solo busca proporcionar una solución para la regulación de la iluminación en viviendas de zonas rurales con acceso limitado o nulo a conexión eléctrica, sino también contribuir a mejorar las condiciones de vida de las personas que habitan en estas áreas. Al ofrecer un entorno mejor iluminado que se adapte a la variedad de actividades a realizar, se pueden potenciar aspectos fundamentales como la educación, la productividad y la seguridad en el hogar. Este enfoque integral, que combina tecnología accesible y criterios de sostenibilidad, es esencial para promover un desarrollo más equitativo y sostenible en comunidades vulnerables.

### 3. Alcances

Por medio de este proyecto se diseñará y construirá un prototipo de sistema de iluminación autónomo para uso en espacios o momentos donde no se disponga de iluminación adecuada, atendiendo actividades domésticas y educativas (lectura, estudio, preparación de alimentos) que requieren niveles de iluminancia seguros y regulables en ausencia de luz natural. Todo lo anterior se desarrollará utilizando fuentes de energía sostenibles, con el fin de implementar la solución en viviendas ubicadas en zonas rurales con acceso limitado o nulo a conexión eléctrica.

El alcance del proyecto se circunscribe a los siguientes puntos:

- Implementar un sistema que permita a los usuarios regular la intensidad de la luz, adaptándola a las diferentes actividades que realizan en su hogar.
- Asegurar que el sistema sea duradero y adecuado para las condiciones de vida en áreas rurales, considerando el acceso limitado a servicios de mantenimiento.
- Crear un sistema que sea accesible y económico, promoviendo el uso de energías renovables y la reutilización de materiales disponibles.
- Comprobar la funcionalidad del sistema, evaluando tanto su capacidad de iluminación como la efectividad del ajuste de niveles de intensidad en viviendas dentro de zonas rurales, y realizar los ajustes necesarios.

Si bien el proyecto tiene objetivos claros, enfrenta varias limitaciones prácticas que es importante considerar. Por un lado, el presupuesto disponible puede restringir la exploración de ciertos materiales o tecnologías de última generación, como baterías avanzadas. Por otro lado, el tiempo destinado a la investigación y desarrollo podría no ser suficiente para realizar pruebas prolongadas en condiciones reales. Adicionalmente, las condiciones geográficas y climáticas de

las zonas rurales seleccionadas pueden dificultar la instalación o el mantenimiento del sistema propuesto. Estas limitaciones se están abordando mediante soluciones alternativas, como el uso de materiales accesibles y pruebas en entornos simulados.

## **4. Antecedentes**

Los antecedentes de este proyecto proporcionan una visión integral de las problemáticas y soluciones actuales relacionadas con la iluminación autónoma en contextos rurales. Esta revisión no solo resalta los retos tecnológicos y económicos enfrentados en estas áreas, sino también las iniciativas que han surgido para resolverlos. Analizar el estado del arte, el marco teórico y los antecedentes de la situación de estudio permite identificar las fortalezas y limitaciones de enfoques previos, sentando las bases para el diseño de una solución innovadora, sostenible y adecuada a las necesidades específicas de estas comunidades.

### **4.1 Estado del arte**

El análisis del estado del arte y los antecedentes del proyecto destacan las soluciones previas para la iluminación autónoma en áreas rurales, desde lámparas solares hasta alternativas como la botella solar. Este análisis permite identificar tendencias actuales y brechas tecnológicas, lo que informa el desarrollo de soluciones más adaptadas y eficientes.

#### ***4.1.1 Lámparas de Energía Solar***

Las lámparas solares Figura 1 son una de las alternativas más utilizadas en zonas rurales sin acceso a red eléctrica. Funcionan mediante un panel fotovoltaico que capta la luz solar

durante el día, transformándola en energía que se almacena en una batería recargable. Esta energía se libera durante la noche para alimentar bombillas LED de bajo consumo, ofreciendo iluminación sin depender de combustibles ni instalaciones eléctricas complejas.

### Figura 1

Lámpara de energía solar.



Nota: Fotografía de lámpara de energía solar tomada por Chun, A. M. S. (2015).

Su diseño suele ser compacto, portátil y fácil de usar, lo que permite su adopción incluso por personas sin conocimientos técnicos. Algunos modelos incorporan sensores para encendido automático y funciones básicas de regulación, aunque esto varía según el costo y la calidad del producto.

Entre sus ventajas destacan la autonomía energética, la facilidad de instalación y su bajo impacto ambiental. Sin embargo, su funcionamiento depende de las condiciones climáticas y su autonomía suele ser limitada, especialmente en modelos económicos. Además, la mayoría no incluye opciones para ajustar la intensidad lumínica, lo que reduce su utilidad en tareas con distintas exigencias visuales.

A pesar de estas limitaciones, las lámparas solares representan un punto de partida importante. En este proyecto se toman como referencia por su autonomía y sostenibilidad, pero también se busca superar sus debilidades incorporando ajustes de intensidad, mayor duración y el uso de materiales más accesibles para contextos rurales.

### 4.1.2 Lámparas a Pilas

Las lámparas a pilas Figura 2 representan una alternativa accesible y de fácil adquisición para comunidades sin acceso estable a la red eléctrica. Funcionan mediante el uso de baterías desechables (alcalinas) o recargables, que alimentan una o varias bombillas LED u otros tipos de luces de bajo consumo. Este tipo de lámpara ha sido ampliamente utilizada en contextos rurales y en situaciones de emergencia debido a su portabilidad y a que no dependen de una fuente de energía fija.

**Figura 2**

Lámpara de pilas.



Nota: Fotografía de lámpara de pilas tomada por Stephen McNamara (2009).

Su principal ventaja es la facilidad de uso: no requieren instalación, pueden activarse de inmediato y suelen ser livianas, lo que permite moverlas fácilmente entre espacios interiores y exteriores. Además, algunos modelos incluyen características adicionales como varios niveles de brillo, ganchos de colgado o carcasas resistentes al agua.

Sin embargo, presentan limitaciones importantes. Las versiones que funcionan con baterías desechables generan un gasto recurrente, especialmente en zonas donde el acceso a tiendas es limitado o donde el precio de las pilas es elevado. Incluso en los modelos recargables, si no se cuenta con una fuente confiable para recargarlas (como paneles solares o red eléctrica),

su uso se ve restringido. Además, las baterías usadas representan un residuo ambiental si no se gestionan adecuadamente, lo cual es un riesgo en comunidades donde no existen sistemas de recolección formal.

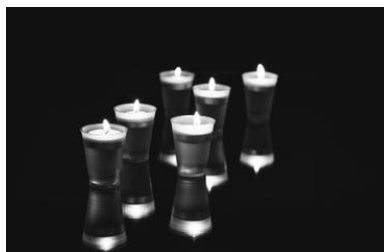
En el contexto de este proyecto, las lámparas a pilas sirven como un referente de soluciones autónomas que no dependen de la red eléctrica, pero también ponen en evidencia la necesidad de alternativas más sostenibles, de bajo mantenimiento y que reduzcan los costos operativos a largo plazo. Por eso, aunque aportan ideas útiles en cuanto a diseño compacto y facilidad de uso, su dependencia de insumos externos limita su viabilidad en entornos rurales remotos.

#### **4.1.3 Velas**

Las velas Figura 3 han sido históricamente una de las formas más básicas y extendidas de iluminación en contextos donde no existe acceso a la electricidad. Están compuestas por una mecha inmersa en cera (generalmente parafina), que al encenderse produce una llama constante. Aunque su uso ha disminuido con la llegada de soluciones más modernas, en muchas zonas rurales continúan siendo una alternativa común debido a su bajo costo inicial y su fácil disponibilidad.

**Figura 3**

Velas.



Nota: Fotografía de velas tomada por Ryan (2013).

Su principal ventaja radica en la simplicidad: no requieren instalación ni conocimientos técnicos para su uso. Son livianas, portátiles y pueden iluminar espacios pequeños durante varias horas, lo que las convierte en una solución temporal útil en situaciones de emergencia o apagones prolongados.

No obstante, presentan múltiples limitaciones y riesgos. La intensidad de luz que emiten es baja (equivalente a 10–15 lúmenes por vela), lo cual resulta insuficiente para realizar tareas que demanden esfuerzo visual como la lectura, la costura o el estudio. Además, el uso prolongado de velas en espacios cerrados representa un alto riesgo de incendios, especialmente en viviendas con estructuras de madera o materiales inflamables. También producen humo y liberan compuestos nocivos al ambiente interior, afectando la calidad del aire y, por ende, la salud respiratoria de los habitantes, particularmente niños y adultos mayores.

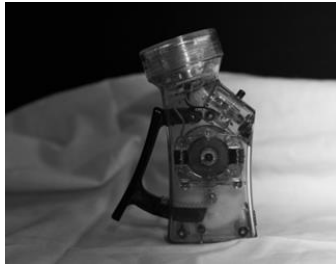
En el contexto de este proyecto, las velas representan una solución de emergencia más que una opción sostenible. Su uso persistente evidencia la necesidad urgente de alternativas más seguras, eficientes y saludables para comunidades sin acceso a energía eléctrica.

#### ***4.1.4 Lámparas de Dinamo o Manivela***

Las lámparas de dinamo o manivela Figura 4 funcionan mediante un principio simple pero eficaz: convierten energía mecánica en energía eléctrica a través de un generador interno. El usuario acciona una manivela o algún mecanismo de fricción, y la energía generada se almacena temporalmente en un condensador o batería pequeña que luego alimenta una bombilla LED.

**Figura 4**

Lámpara de manivela.



Nota: Fotografía de una lámpara de manivela tomada por James Case (2013).

Este tipo de lámparas destaca por su independencia total de fuentes externas de energía, lo que las convierte en una solución útil para contextos donde no hay sol, baterías, ni acceso a red eléctrica. Su diseño suele ser compacto y robusto, pensado para resistir condiciones adversas, y muchas versiones incluyen radios o cargadores de emergencia para celulares, lo cual amplía su funcionalidad en situaciones críticas.

La principal ventaja es su autonomía ilimitada: mientras el usuario pueda generar movimiento, tendrá acceso a luz. Además, al no requerir consumibles (pilas o combustible), representa una alternativa sostenible en términos de operación. También evita riesgos asociados al fuego o gases contaminantes, haciendo que su uso en interiores sea seguro.

Sin embargo, su principal desventaja radica en el esfuerzo físico constante que requiere. Para obtener unos pocos minutos de luz continua, el usuario debe accionar el mecanismo durante varios minutos, lo cual puede ser impráctico si se necesita iluminación prolongada o en actividades que requieren las manos libres. Asimismo, la cantidad de luz producida suele ser limitada, y su duración depende del modelo y del tiempo de carga manual.

En el contexto del proyecto, estas lámparas ofrecen inspiración como sistemas completamente autónomos y seguros, pero no cumplen con las necesidades de comodidad ni de

regulación de intensidad visual que se busca resolver. Aun así, representan una alternativa interesante cuando se consideran escenarios de emergencia o respaldo, donde el acceso a otros recursos energéticos sea nulo.

#### ***4.1.5 Lámparas de Keroseno***

Estas lámparas de keroseno Figura 5 funcionan por combustión, el keroseno sube por una mecha y produce una llama constante. Son de bajo costo inicial y han sido ampliamente utilizadas en zonas rurales sin acceso a electricidad, debido a su facilidad de uso y disponibilidad del combustible en mercados locales.

#### **Figura 5**

Lámpara de keroseno.



Nota: Fotografía de una lámpara de keroseno tomada por David Juckett (2018).

Sin embargo, sus desventajas son críticas. Generan emisiones contaminantes que afectan la salud respiratoria, especialmente en espacios cerrados, y aumentan el riesgo de incendios. Informes indican que, en países en desarrollo, millones de personas sufren quemaduras graves cada año por accidentes relacionados con este tipo de lámparas (African Climate Reporters, 2023). Además, el gasto mensual en combustible puede representar hasta el 25 % del presupuesto de un hogar rural (IEA, 2023).

Desde el enfoque de este proyecto, estas lámparas deben ser reemplazadas por alternativas más seguras, sostenibles y económicas. El sistema propuesto busca superar estas deficiencias al ofrecer una solución autónoma, sin combustión, con mantenimiento mínimo y adaptable a diferentes actividades domésticas.

Cada uno de los métodos mencionados tiene sus ventajas y desventajas, y la elección depende en la mayoría de los casos de la disponibilidad de recursos y las necesidades específicas de la comunidad.

#### ***4.1.6 Brechas Tecnológicas***

Las tecnologías actuales, como las lámparas solares y de dinamo, ofrecen soluciones sostenibles, pero tienen limitaciones importantes en autonomía y flexibilidad. Por ejemplo, las lámparas solares tienden a ser costosas o dependientes de condiciones climáticas ideales, mientras que las de dinamo requieren esfuerzo manual constante. Estas brechas justifican la exploración de sistemas más eficientes, como el uso de baterías de aluminio-aire combinadas con reguladores de intensidad para satisfacer demandas visuales específicas.

#### ***4.1.7 Relevancia del Diseño Modular y Materiales Reciclables***

La evaluación de alternativas destaca la importancia de la sostenibilidad. Diseños modulares que permitan reparaciones y la incorporación de materiales locales y reciclables no solo reducen costos, sino que también facilitan la aceptación del producto en comunidades rurales. Este enfoque es clave para superar las barreras económicas y culturales identificadas en el análisis.

#### ***4.1.8 Autonomía y Ajuste de Intensidad***

Los sistemas actuales no integran funcionalidades para ajustar la intensidad de luz según la actividad realizada, una necesidad recurrente en los contextos rurales analizados. El sistema propuesto responde a esta necesidad con un controlador manual de intensidad, ofreciendo flexibilidad y mejorando la experiencia del usuario.

#### ***4.1.9 Incorporación de Energías Híbridas***

La combinación de energía solar con baterías de aluminio-aire se vislumbra como una solución óptima para aumentar la autonomía y reducir la dependencia exclusiva de una sola fuente energética.

#### ***4.1.10 Factores de Seguridad y Salud***

Las alternativas como las lámparas de queroseno y las velas representan riesgos significativos para la salud y la seguridad, como incendios y emisión de gases tóxicos. Este hallazgo refuerza la necesidad de diseñar un sistema que elimine estos riesgos y garantice un entorno seguro para los usuarios.

Este análisis del estado del arte no solo permite identificar las tendencias actuales y las brechas tecnológicas, sino que también guía directamente las decisiones en el diseño del sistema propuesto. Por ejemplo, las limitaciones de autonomía en dispositivos solares actuales y los riesgos de las lámparas de queroseno han motivado la inclusión de un controlador manual de intensidad y la exploración de materiales reciclables en el prototipo. Esta relación entre el análisis y las decisiones asegura que el sistema propuesto aborde las necesidades no satisfechas de las comunidades rurales.

## 4.2 Marco teórico

El presente marco teórico aborda los conceptos fundamentales relacionados con la iluminación autónoma y regulable, destacando los principios técnicos y las consideraciones visuales necesarias para su diseño. Posteriormente, se analizará el contexto de aplicación en zonas rurales, donde el acceso limitado a la red eléctrica plantea desafíos que justifican la implementación de este tipo de sistemas.

Una zona rural es un área caracterizada por tener una baja densidad de población, poco desarrollo industrial y una infraestructura limitada, especialmente en términos de acceso a servicios esenciales como la electricidad. Estas regiones suelen estar alejadas de las ciudades y enfrentan desafíos importantes en cuanto a su desarrollo y acceso a recursos.

A menudo, las comunidades rurales dependen de métodos tradicionales y menos eficientes para cubrir sus necesidades energéticas, lo que puede restringir su desarrollo económico y social (Legros y Bonjour, 2009). Además de estos desafíos, es importante considerar cómo las limitaciones propias de las zonas rurales afectan a las personas que viven allí, tanto física como psicológicamente. Esto nos lleva a entender que en estas comunidades surgen demandas visuales, emocionales y de seguridad que no pueden ser ignoradas.

En comunidades rurales, la iluminación adecuada no solo facilita la realización de actividades en condiciones adversas, sino que también influye en aspectos emocionales y de seguridad. Las demandas visuales se determinan evaluando la dificultad de las tareas según sus condiciones específicas, incluyendo tiempos prolongados y espacios desafiantes (Retilap, 2010). Por su parte, las demandas emocionales están ligadas al impacto de la luz en el estado de ánimo, la motivación y la sensación de bienestar. Finalmente, las demandas de seguridad abarcan tanto

la circulación en condiciones normales y de emergencia como la efectividad de las fuentes luminosas disponibles (Retilap, 2010).

Las necesidades básicas de subsistencia son todas aquellas necesidades que indirecta o directamente garantizan la supervivencia de un individuo, por tanto, deben ser prioridades a nivel gubernamental y en cualquier escenario. Entre estas, el consumo básico de subsistencia se define como la cantidad mínima de electricidad utilizada en un mes para que un usuario satisfaga las necesidades básicas que solamente puedan ser satisfechas mediante esta forma de energía. Según la (IEA, 2023), este consumo debe estar en un rango de 50kWh y 100kWh al año por persona.

En lugares como las zonas rurales un sistema común es Iluminación mediante luz natural. Se define como la iluminación a espacios interiores por medio de la luz natural, usando controladores de la misma luz solar, pueden ser arquitectónicos como ventanales y demás...esta iluminación mejora la calidad visual en los recintos interiores, además permite descansar la vista y disminuir la fatiga visual.

Al hablar de las condiciones que influyen en nuestro entorno, es esencial considerar cómo la iluminación afecta no solo la funcionalidad de un espacio, sino también el bienestar de quienes lo ocupan. La Teoría de la Iluminación sugiere que los niveles de luz pueden influir en nuestro grado de productividad, motivación y bienestar, lo que destaca la importancia de un diseño de iluminación adecuado en cualquier ambiente. Resultados similares salieron de otro estudio realizado sobre mecanógrafos (Weston y Taylor, 1926).

Los factores como la intensidad y el color de luz pueden influir directamente en la productividad de un individuo a la hora de realizar sus actividades. Si bien el ser humano cuenta con la capacidad de adaptarse a su entorno, el uso de una iluminación inadecuada bien sea por el exceso de luz o, por el contrario, una iluminación deficiente, tiene como resultado molestias

involuntarias o inclusive, la aparición temprana de síntomas relacionados con la fatiga visual y cognitiva.

**Tabla 1**

Niveles de iluminación recomendados 2010.

Niveles	Iluminancia (lux)	Clase de actividad
Iluminación general en zonas poco frecuentadas o con necesidad visuales sencillas	20	Zonas públicas con alrededores oscuros
	30	
	50	Únicamente como simples orientaciones en visitas de corta duración
	75	Lugares con necesidades visuales limitadas
	100	
	150	
	Iluminación general para trabajo en interiores	200
300		
500		Tareas con necesidades visual normal (maquinaria media, oficinas)
700		
1000		
1500	Tareas con necesidad visual especial (grabado, inspección textil)	
2000		

Nota: Niveles de iluminancia recomendados por Hernán Torres (2010).

Como se muestra en la Tabla 1, los niveles de luz en zonas interiores pueden llegar a niveles de tan solo 50 lux a comparación con los 10.000 lux que se pueden captar en exteriores en un día despejado. Las diferentes actividades necesitan diferentes niveles de iluminación que pueden ascender hasta los 20000 lux. Las actividades de oficina de tipo general, mecanografía y computación pueden necesitar una iluminancia de 300 a 750 lux al igual que las salas de conferencia, mientras que las oficinas de dibujo y las oficinas abiertas requieren de 500 a 1000 lux (Retilap, 2010). Estos valores dependen de la intensidad de la tarea y de la locación en la que se encuentren.

La luz es una forma de radiación electromagnética cuya interacción con diferentes materiales genera fenómenos como reflexión, absorción y transmisión. Estos principios son clave para comprender cómo se distribuye la iluminación en un espacio, tal como se describe en la siguiente sección.

### **4.3 Antecedentes de la situación de estudio**

En lo que respecta a antecedentes, la alternativa más usada en estos lugares sin electricidad es la botella solar, esto se debe a su bajo costo y por su extremada eficacia.

Durante el gran corte de luz del 2002, el mecánico brasileño Alfredo Moser se dedicó a desarrollar una lámpara diurna. Moser usó un compuesto de agua y lejía dentro de una botella plástica y la situó en pequeños agujeros en el tejado, el ambiente se iluminó gracias al fenómeno de refracción obtenido por la incidencia de la luz en la botella.

El desarrollo de la lámpara diurna de Moser no se limitó a esta alternativa, la idea fue tomada por otras personas y llevadas más allá, un ejemplo de esto es el filipino Illac Diaz, que en su corta vida ya tenía el desarrollo de proyectos autosustentables y de bajo costo en su país. Apoyado de una ONG, sin ánimo de lucro y que hoy en día ya está presente en 21 países y 6 continentes.

La idea de Moser tiene como fuente la luz solar y funciona únicamente en el día. Por otro lado, las lámparas desarrolladas por la ONG poseen un mecanismo en el que pequeñas lámparas de led, puestas dentro de botellas de plástico, se alimentan de una placa fotovoltaica, que almacenan energía. En el día se almacena energía y se utiliza esta para proporcionar iluminación la noche.

Este proyecto fue llevado a las calles. Usando el mismo mecanismo y aprovechando elementos reciclables se crearon postes de luz que se instalaron en barrios necesitados. A su vez se informan a los residentes para lograr una ayuda mutua y mantener estos elementos con constante mantenimiento.

Estos proyectos se han propagado hasta Latinoamérica, consisten en reunir voluntarios de varias partes de los países para la instalación de estos elementos. En el tiempo que se usó este proyecto se estimó que redujeron la emisión de CO<sub>2</sub> en aproximadamente 250 kg y la recuperación de la inversión se obtiene en poco más de 3 meses.

## **5. Metodología**

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizará una metodología mixta teniendo como base el *Design Thinking*, la cual consiste en el diseño estratégico de procesos y métodos centrados en la resolución de problemas intervenidos y modificados por las necesidades del usuario, dando como resultado soluciones viables. Con la finalidad de articular etapas enfocadas en la producción y postproducción se complementa con la propuesta metodológica ARZ la cual se enfatiza en el desarrollo de productos sostenibles propuesta por la universidad de Antioquia.

## **6. Empatizar**

### **6.1 Identificar necesidades**

Esta fase del proyecto, se enfoca en la "Identificación de Necesidades" de los usuarios, un paso fundamental para asegurar que el sistema de iluminación regulable sea verdaderamente

funcional y relevante para las personas que habitan en zonas rurales con difícil acceso a conexión eléctrica. Este análisis inicial permite entender a profundidad los desafíos, prioridades y aspiraciones de la comunidad, de forma que el diseño final del sistema responda efectivamente a sus expectativas y se adapte a su contexto específico. La identificación de necesidades facilita un diseño centrado en el usuario, orientado no solo a resolver problemas concretos, sino también a mejorar la calidad de vida de los habitantes en términos de comodidad, seguridad y sostenibilidad.

### ***6.1.1 Mapa de empatía***

El "Mapa de Empatía" es una herramienta utilizada para profundizar en la comprensión de los usuarios desde una perspectiva integral, explorando no solo sus necesidades prácticas, sino también sus emociones, pensamientos y entorno social. Esta herramienta ayuda a obtener una visión más completa de los factores que afectan su vida cotidiana, lo cual es fundamental para desarrollar un producto que no solo resuelva problemas, sino que también sea aceptado y valorado por los usuarios en su contexto.

Qué piensa y siente:

- Preocupación constante por el bienestar y seguridad de su familia, especialmente en la noche.
- Ansiedad por la dependencia de sistemas inseguros, como velas o lámparas de queroseno, que representan riesgos de salud y seguridad.
- Deseo de tener un hogar mejor equipado, con soluciones modernas y funcionales, a pesar de vivir en un entorno aislado.

- Frustración al no poder garantizar una iluminación segura y confiable durante emergencias nocturnas o climas adversos.

Qué escucha:

- Consejos de personas de la comunidad sobre improvisar soluciones caseras para iluminarse.
- Comentarios sobre accidentes o problemas relacionados con lámparas de keroseno o velas.
- Recomendaciones de líderes comunitarios o conocidos sobre buscar alternativas más seguras y sostenibles.
- Opiniones de familiares sobre la necesidad de mejorar la iluminación para que los hijos estudien mejor o para trabajar de manera más cómoda.

Qué ve:

- Limitaciones en el acceso a energía en su comunidad, con soluciones improvisadas como velas y linternas que apenas cubren las necesidades básicas.
- Impacto negativo en actividades como el estudio, el trabajo artesanal y las tareas domésticas debido a la falta de luz adecuada.
- Ejemplos de iniciativas sostenibles en otras comunidades, que despiertan interés y esperanza de implementarlas localmente.

Qué dice y hace:

- Expresa su deseo de mejorar las condiciones de vida en su hogar, enfatizando la necesidad de seguridad y comodidad.
- Busca información sobre soluciones accesibles y sostenibles, participando en reuniones comunitarias para explorar opciones energéticas.

- Experimenta con materiales locales para crear soluciones improvisadas, como el reciclaje de botellas plásticas para mejorar la iluminación.

Esfuerzos:

- Mantener las fuentes de luz existentes en funcionamiento, reparándolas o adaptándolas con los recursos disponibles.
- Reducir el uso de sistemas peligrosos, como lámparas de queroseno, aunque esto implique limitar sus actividades nocturnas.
- Buscar alternativas económicas y sostenibles, a pesar de los recursos limitados.

Resultados:

- Espera contar con una fuente de luz autónoma y regulable que le permita realizar actividades nocturnas de manera segura y sostenible.
- Alivio y satisfacción al tener una solución que reduce riesgos de salud y mejora la calidad de vida familiar.
- Incremento en la productividad y el bienestar general gracias a un entorno más seguro y funcional.

Este mapa de empatía enriquece la comprensión del usuario objetivo, asegurando que el sistema de iluminación no solo resuelva problemas prácticos, sino que también responda a sus aspiraciones y mejore su calidad de vida de manera integral.

### ***6.1.2 Usuario arquetipo***

La herramienta del "Usuario Arquetipo" permite sintetizar y representar un perfil típico de los usuarios que utilizarán el sistema de iluminación. Este arquetipo se construye a partir de datos y observaciones sobre la comunidad objetivo, resaltando sus características

sociodemográficas, comportamientos, motivaciones y desafíos diarios. Al definir este perfil, se establece una referencia clara que orienta el proceso de diseño y desarrollo, asegurando que el producto final responda a las características y necesidades comunes de los futuros usuarios.

Usuario Arquetipo:

Nombre: Ana María Pérez

- Edad: 42 años
- Ocupación: Agricultora y ama de casa
- Lugar de residencia: Zona rural sin conexión estable a la red eléctrica (via socorro)
- Motivaciones: Mejorar las condiciones de vida en su hogar, facilitar la educación y seguridad de sus hijos, y disminuir el uso de alternativas riesgosas.
- Desafíos: Acceso limitado a energía eléctrica, dependencia de fuentes de luz poco seguras, y el alto costo de dispositivos que ofrecen alternativas de iluminación autónoma.
- Objetivos: Disponer de una fuente de iluminación confiable y ajustable que le permita realizar tareas de noche, sin depender de sistemas de alto mantenimiento o que generen altos costos a largo plazo.

Nombre: Juan Carlos Suárez

- Edad: 50 años
- Ocupación: Agricultor de cultivos mixtos (cacao y limón tahití)
- Lugar de residencia: Vereda El Pablón, zona rural de Bucaramanga
- Motivaciones: Mejorar la calidad de vida de su familia y reducir costos energéticos para destinar más recursos al fortalecimiento de sus cultivos.
- Desafíos: Acceso limitado a electricidad confiable, uso de velas y lámparas de para iluminación nocturna, y falta de alternativas de bajo mantenimiento.

- **Objetivos:** Contar con un sistema de iluminación que permita a su familia realizar actividades en las noches de forma segura, económica y sostenible, sin depender de combustibles costosos y riesgosos

### 6.1.3 Lista de deseos

En la Tabla 2 se resume la "Lista de Deseos" que recopila las aspiraciones, expectativas y requisitos esenciales que la comunidad objetivo identifica en relación con el sistema de iluminación. Este ejercicio permite enfocar el diseño en necesidades prácticas y emocionales, asegurando que el producto no solo resuelva problemas funcionales, sino que también aporte valor significativo a la vida de las personas.

**Tabla 2**

Lista de deseos.

<b>Deseos de la Comunidad:</b>	
<b>Iluminación regulable</b>	La posibilidad de ajustar la intensidad de la luz según la actividad realizada. Este aspecto es fundamental para optimizar la energía y mejorar la comodidad, ya sea para tareas como leer o para momentos de descanso.
<b>Autonomía y bajo mantenimiento</b>	Un sistema duradero que funcione de manera confiable con intervenciones mínimas. La comunidad resalta que el acceso limitado a soporte técnico hace necesario un diseño robusto y autosuficiente.
<b>Sostenibilidad económica</b>	El sistema debe ser accesible en términos de costo inicial y operación, evitando gastos recurrentes, como el reemplazo de baterías o componentes difíciles de conseguir.
<b>Seguridad y reducción de riesgos</b>	Eliminar la dependencia de fuentes peligrosas como velas o lámparas de keroseno, que han causado accidentes e impactos negativos en la salud. Este deseo refleja la urgencia de proteger a los niños y garantizar un entorno seguro.

<b>Facilidad de uso</b>	Un diseño intuitivo que permita a cualquier miembro de la familia, sin importar su edad o nivel de formación, operar el sistema sin complicaciones.
<b>Impacto positivo en la vida familiar</b>	Iluminación suficiente para facilitar actividades nocturnas importantes, como el estudio de los hijos, trabajos productivos o reuniones familiares. La comunidad ve en este sistema una herramienta para mejorar la calidad de vida.
<b>Portabilidad</b>	Desean un sistema que pueda trasladarse fácilmente dentro y fuera del hogar, permitiendo su uso en diferentes espacios según las necesidades del momento.

**Resiliencia** El sistema debe resistir condiciones adversas como la humedad, los golpes y el polvo, comunes en el entorno rural donde será utilizado.

Nota: Tabla elaborada por el autor (2025) a partir de la información recopilada durante la etapa de investigación con los usuarios.

Al considerar estos deseos, el sistema de iluminación propuesto se enfoca en:

- Proveer una solución personalizable y energéticamente eficiente.
- Diseñar un producto sostenible, tanto en materiales como en costos operativos.
- Garantizar seguridad y facilidad de uso, promoviendo la confianza y satisfacción de los usuarios.
- Adaptarse al entorno rural, superando barreras técnicas y culturales.

Esta lista no solo orienta el diseño del sistema, sino que también asegura que se alinee con las metas de sostenibilidad y bienestar de la comunidad, generando un impacto positivo en sus vidas.

#### **6.1.4 Customer journey**

A continuación, se describen las etapas clave que el usuario experimenta al interactuar con el sistema de iluminación, desde su descubrimiento inicial hasta su uso a largo plazo. Este

enfoque permite identificar oportunidades para optimizar la experiencia del usuario y garantizar una adopción exitosa del sistema.

**Tabla 3**

*Customer journey.*

	<b>Qué sucede</b>	<b>Emociones</b>	<b>Oportunidad</b>
<b>Descubrimiento</b>	El usuario escucha sobre el sistema a través de líderes comunitarios, organizaciones locales o programas gubernamentales. Este contacto inicial despierta curiosidad y genera expectativas sobre cómo este sistema podría mejorar su calidad de vida.	Interés mezclado con escepticismo, debido a experiencias previas con soluciones poco efectivas.	Crear campañas claras y accesibles que expliquen los beneficios del sistema en términos concretos y relevantes para la comunidad.
<b>Evaluación</b>	El usuario analiza el costo, la facilidad de uso, la durabilidad y la sostenibilidad del sistema en comparación con sus soluciones actuales (velas, lámparas de queroseno o linternas).	Expectativa, pero también dudas sobre la inversión inicial y el valor real del sistema.	Ofrecer demostraciones prácticas o testimonios de otros usuarios para construir confianza y destacar las ventajas frente a las alternativas tradicionales.
<b>Adquisición</b>	El usuario adquiere el sistema a través de una organización comunitaria, programas de subsidios o directamente mediante un proveedor local. La instalación es sencilla y guiada, asegurando que el usuario pueda comenzar a usar el sistema de inmediato.	Entusiasmo combinado con una ligera incertidumbre sobre si el sistema cumplirá sus expectativas.	Garantizar un proceso de adquisición e instalación simple y bien acompañado, con materiales de soporte claros.
<b>Primer uso</b>	El usuario prueba el sistema por primera vez, ajustando la intensidad de la luz según sus necesidades. Realiza actividades como estudiar, cocinar o trabajar con una iluminación adecuada.	Satisfacción inicial, pero también atención crítica al rendimiento.	Diseñar una experiencia de primer uso intuitiva que refuerce los beneficios del sistema y minimice posibles frustraciones.

<b>Uso continuo</b>	Integra el sistema en su vida diaria, aprovechando la iluminación constante y ajustable. Comienza a notar mejoras en la productividad y en la calidad de vida familiar.	Comodidad y satisfacción si el sistema funciona como se espera; posibles frustraciones si surgen problemas.	Asegurar que el sistema sea confiable y que los usuarios cuenten con soporte técnico accesible en caso de inconvenientes.
<b>Mantenimiento o revisión</b>	Realiza tareas simples de mantenimiento, como reemplazar el aluminio de la batería o ajustar algún componente. Evalúa si es necesario algún soporte técnico	Tranquilidad si el mantenimiento es sencillo; preocupación si requiere esfuerzo o costos adicionales.	Diseñar un sistema de mantenimiento fácil de realizar con materiales accesibles y guías prácticas para garantizar la satisfacción a largo plazo.

Nota: Tabla elaborada por el autor (2025) con base en la herramienta *Customer Journey*.

La construcción del *customer journey* permitió comprender de manera estructurada las diferentes fases por las que atraviesa el usuario al relacionarse con el sistema de iluminación, desde el primer contacto hasta su uso prolongado. Este análisis no solo evidencia las expectativas y emociones asociadas en cada etapa, sino también los puntos críticos donde se generan dudas o posibles barreras de adopción.

Como se observa en la Tabla 3, las primeras fases (descubrimiento y evaluación) están marcadas por el escepticismo y la comparación con alternativas tradicionales, lo cual resalta la necesidad de estrategias de comunicación claras y demostraciones prácticas que fortalezcan la confianza en la solución propuesta. En contraste, en la fase de primer uso predominan emociones de satisfacción, siempre que el sistema cumpla con los niveles de iluminación esperados, lo que valida la importancia de haber incorporado un mecanismo de regulación flexible.

A largo plazo, las etapas de uso continuo y mantenimiento destacan la relevancia de la confiabilidad del prototipo y de la facilidad de reemplazo de componentes, lo cual se abordó en el diseño al considerar materiales reciclables y un acceso sencillo a la batería. En síntesis, este *customer journey* sirvió como insumo clave para orientar decisiones de diseño centradas en el usuario, asegurando que el sistema no solo sea técnicamente viable, sino también aceptado y adoptado por la comunidad en su cotidianidad.

## **6.2 Análisis de referentes**

En esta etapa, el enfoque se centra en el "Análisis de Referentes", cuyo propósito es estudiar e identificar productos, tecnologías, y soluciones similares que puedan aportar ideas o pautas para el desarrollo del sistema de iluminación autónomo y regulable. Al analizar estos referentes, se pueden extraer ventajas y limitaciones, definir umbrales de costo, materiales, y principios de funcionamiento que orienten la creación de un diseño eficiente y adaptado a las necesidades de la comunidad. Esta etapa es fundamental para asegurar que el sistema se base en prácticas comprobadas y para evitar errores comunes en productos similares.

### **6.2.1 Fishbone**

Para identificar las posibles causas que limitan el acceso a soluciones de iluminación en contextos rurales, se empleó la herramienta de análisis Ishikawa. Esta permitió organizar de manera estructurada los factores que influyen en el problema central y visualizar la relación entre cada uno de ellos.

El análisis se enfocó en cuatro aspectos principales: económico (costos de materiales), que contempla los bajos ingresos de las familias y las dificultades para adquirir soluciones

comerciales; ambiental (condiciones de uso en zonas rurales), relacionado con la dependencia de recursos no renovables y la disposición final de materiales; técnico (fallas de conexión y durabilidad), que abarca la falta de infraestructura eléctrica y las limitaciones en el acceso a tecnología; y social (nivel de alfabetización tecnológica de los usuarios), vinculado a los hábitos de uso, las necesidades de iluminación en actividades cotidianas y las condiciones de vida en la comunidad.

Este ejercicio permitió comprender de forma integral los distintos factores que condicionan el problema, y sirvió como punto de partida para orientar los criterios de diseño del sistema de iluminación autónomo y regulable. El diagrama completo se presenta en el Anexo 18.

### **6.2.2 Fast (*Function Analysis System Technique*)**

El análisis FAST descompone las funciones principales del sistema en funciones secundarias y de soporte, demostrando cómo cada una contribuye a los objetivos generales del proyecto.

Esta etapa demuestra cómo las funciones principales del sistema de iluminación se apoyan en funciones secundarias específicas, asegurando que cada aspecto del diseño esté alineado con los objetivos generales del proyecto. Además, se incluyen detalles específicos para clarificar cómo se implementan estas funciones en el diseño.

El análisis evidenció que las funciones principales son proporcionar iluminación autónoma y permitir la regulación de intensidad. A estas se suman funciones secundarias como almacenar energía, garantizar portabilidad, ofrecer seguridad al usuario y asegurar aspectos de sostenibilidad de los materiales y facilidad de uso.

Este ejercicio permitió estructurar de manera clara la lógica del sistema, permitió identificar que la función principal del sistema es proporcionar iluminación autónoma, mientras que las funciones secundarias como regular intensidad y optimizar consumo son claves para la adaptación a distintas demandas visuales, y sirvió como insumo para la definición de requerimientos y la evaluación de alternativas. El diagrama completo está presente en el Anexo 1.

### **6.2.3 Qfd**

El Diagrama QFD es una herramienta de calidad que ayuda a trasladar las necesidades y expectativas de los usuarios en especificaciones técnicas del sistema de iluminación. Al aplicar el QFD en este proyecto, se asegura que cada requerimiento del usuario, previamente identificado en la etapa de análisis de necesidades, se refleje en características concretas del diseño. Esto permite priorizar funciones y asegurar que el sistema responda efectivamente a los desafíos y deseos específicos de la comunidad objetivo en zonas rurales.

#### **6.2.3.1 Necesidades del Usuario (Voz del Cliente)**

- Iluminación ajustable: Los usuarios desean Iluminación suficiente para tareas domésticas.
- Costo accesible: El sistema debe ser asequible, considerando la limitación económica de la comunidad.
- Autonomía y durabilidad: Los usuarios requieren un sistema que funcione de manera continua y que sea duradero en condiciones rurales.
- Bajo mantenimiento: Dado que la comunidad puede tener acceso limitado a servicios de reparación, el sistema debe requerir el menor mantenimiento posible.

- Sostenibilidad y seguridad: El uso de materiales sostenibles y el diseño seguro son prioritarios para evitar riesgos.

### **6.2.3.2 Especificaciones Técnicas (Cómo cumplir las necesidades)**

- Panel solar de alta eficiencia: Captura máxima de luz solar para cubrir los requerimientos de autonomía.
- Regulador de intensidad: Permite al usuario ajustar la intensidad de luz manualmente. (Intensidad de luz ajustable entre 150 y 200 lux.)
- Batería de larga duración: Almacenamiento de energía suficiente para garantizar funcionamiento nocturno.
- Diseño modular: Facilita reparaciones menores y reemplazo de componentes sin necesidad de conocimientos técnicos avanzados.
- Materiales sostenibles y de bajo costo: Uso de componentes reciclables y resistentes al clima, reduciendo el impacto ambiental y los costos.

La matriz QFD relaciona las necesidades de las comunidades rurales con características técnicas del sistema, asegurando que cada especificación cumpla con una demanda específica identificada en la fase de empatía.

Un ejemplo práctico sería la necesidad identificada de 'iluminación suficiente para lectura'. Esto se traduce técnicamente en un rango de 150-200 lux para un área de 0.5 m<sup>2</sup>. Esta especificación técnica asegura que el sistema cumpla con el estándar visual requerido para actividades educativas en zonas rurales.

## 7. Definir

Consiste en documentar la información en formatos de recolección para su análisis, garantizando así la base necesaria para definir y estructurar los parámetros y requerimientos del diseño de un sistema de iluminación autónomo, tanto en términos de su funcionamiento como a lo largo de su ciclo de vida.

### 7.1 Vigilancia tecnológica

Mediante búsquedas bibliográficas y búsquedas en mercado nacional e internacional, se evidenciarán tanto productos como patentes relacionadas.

#### 7.1.1 *Benchmarking*

El Benchmarking analiza productos y tecnologías actuales en el mercado para identificar fortalezas, limitaciones y áreas de oportunidad relevantes para el diseño del sistema de iluminación autónomo y regulable en zonas rurales. Este análisis se centra en dispositivos que emplean energía solar, almacenamiento energético y regulación de intensidad, evaluando aspectos clave como costo, autonomía, durabilidad y sostenibilidad.

##### 7.1.1.1 Lámpara Solar Nokero N233

- Características: Lámpara recargable con batería NiMH, diseñada para uso exterior y con certificaciones ambientales. Ofrece hasta 6 horas de iluminación continua con carga completa.
- Costo: \$15 USD.
- Autonomía: 4-6 horas según la intensidad de uso.

- Ventajas: Bajo costo y facilidad de uso.
- Desventajas: Autonomía limitada y ausencia de ajuste de intensidad. (Nokero, 2022).

#### **7.1.1.2 LuminAID PackLite Max 2-in-1**

- Características: Lámpara inflable compacta con 150 lúmenes, regulador de intensidad, y carga dual (solar y USB). Autonomía de hasta 50 horas en modo de baja intensidad.
- Costo: \$50 USD.
- Autonomía: Hasta 50 horas en baja intensidad.
- Ventajas: Portabilidad, carga dual y regulación de intensidad.
- Desventajas: Costo elevado comparado con otras lámparas solares. (LuminAID, 2021)

#### **7.1.1.3 Sistema Solar BioLite SolarHome 620**

- Características: Sistema integral con panel solar de 6W, batería de 20 Wh y tres lámparas LED con funciones de carga y radio. Diseñado para viviendas rurales.
- Costo: \$150 USD.
- Autonomía: Hasta 14 horas en modo de baja intensidad.
- Ventajas: Funciones adicionales como carga y radio, sistema diseñado para interiores.
- Desventajas: Costo elevado para comunidades rurales. (BioLite, 2020).

El análisis identificó que, aunque los dispositivos evaluados ofrecen soluciones útiles, presentan limitaciones clave que influyen en su adopción por parte de comunidades rurales como la falta de regulación de intensidad, excepto el LuminAID, los productos no permiten ajustar la intensidad, una funcionalidad crítica para adaptar la iluminación a actividades específicas. El costo elevado, los sistemas más completos (como el BioLite) están fuera del alcance económico

de muchas comunidades rurales. Y por último la Autonomía limitada, aunque algunos dispositivos destacan en autonomía, esta varía dependiendo de la intensidad de uso, lo que podría restringir su efectividad.

### ***7.1.2 Impacto en el Proyecto***

El análisis aportó directamente al desarrollo del sistema de iluminación propuesto al integrar la regulación de intensidad como una funcionalidad clave para satisfacer necesidades visuales específicas, la accesibilidad económica mediante el uso de materiales reciclados como el aluminio para las baterías lo que garantiza un costo inicial y operativo bajo y la durabilidad y sostenibilidad a través de un diseño robusto y adaptable a las condiciones rurales, con requerimientos mínimos de mantenimiento. Este enfoque asegura que el sistema propuesto no solo sea competitivo frente a las alternativas existentes, sino que también responda de forma precisa a las limitaciones y aspiraciones identificadas en el mercado.

### ***7.1.3 Matriz de tendencias***

Esta permite identificar y analizar las tendencias tecnológicas, económicas y sociales relacionadas con la iluminación autónoma en zonas rurales. Las tendencias identificadas en la Tabla 4 incluyen la creciente adopción de materiales reciclables y tecnologías autónomas en contextos rurales. Por ejemplo, el uso de aluminio reciclado para baterías refleja estas tendencias, alineándose con las necesidades de sostenibilidad y accesibilidad del proyecto. Estas tendencias observadas ayudan a prever cambios y a adaptar el proyecto para mantener su relevancia y eficacia.

Tabla 4

Matriz de tendencias.

tendencias	descripción	aplicación en el proyecto
<b>almacenamiento energético</b>	innovaciones en baterías de litio y alternativas de alta capacidad y durabilidad, diseñadas para ambientes rurales	implementación de baterías de litio o alternativas asequibles con una autonomía de al menos 8 horas
<b>regulación de intensidad</b>	dispositivos de iluminación con control de intensidad para personalizar el consumo y adaptarse a diversas actividades	integración de un regulador manual que permita ajustar la intensidad de luz para distintas tareas
<b>economía circular y sostenibilidad</b>	uso de materiales reciclables y sistemas modulares que faciliten la reparación y extiendan el ciclo de vida del producto	empleo de materiales locales y reciclables que permitan un diseño modular y faciliten el mantenimiento de bajo costo
<b>energía de bajo costo</b>	Sistema económico que pueda utilizarse en condiciones de baja iluminación natural.	inclusión de una fuente de energía de bajo costo que asegure el suministro energético en condiciones adversas

Nota: Matriz elaborada por el autor (2025) con base en la identificación y clasificación de tendencias relevantes para el proyecto.

Estas tendencias enfatizan la importancia de utilizar tecnologías accesibles y sostenibles, así como la incorporación de controles de intensidad y opciones de almacenamiento que ofrezcan mayor autonomía. Esto asegura que el sistema de iluminación sea funcional en las condiciones rurales y tenga un bajo impacto ambiental.

#### 7.1.4 Modelo Kano

El Modelo Kano clasifica las características del sistema de iluminación en función de su impacto en la satisfacción del usuario, permitiendo priorizar los atributos esenciales y diferenciar aquellos que pueden sorprender positivamente al usuario. Este análisis es crucial para diseñar un

sistema que no solo cumpla con los requisitos básicos, sino que también eleve la percepción del valor agregado por parte de las comunidades rurales.

Entre estos atributos que se encuentran organizados en la Tabla 5 están los Básicos (*Must-be*) que son indispensables; su ausencia genera insatisfacción inmediata, pero su presencia no incrementa significativamente la satisfacción del usuario, Desempeño (*One-dimensional*) los cuales generan satisfacción proporcional a su desempeño; cuanto mejor sean, mayor será la satisfacción y por último los atractivos (*Delighters*) cuyas características no son esperadas por los usuarios, pero su inclusión puede generar una experiencia sobresaliente y satisfacción adicional.

**Tabla 5**

Modelo kano.

	<p><b>Autonomía suficiente: El sistema debe proporcionar al menos 8 horas de iluminación continua para cubrir las actividades nocturnas habituales, como cocinar, estudiar o trabajar.</b></p>
<p><b>Atributos Básicos</b> (<i>Must-be</i>):</p>	<p>Costo accesible: Debe ser económicamente viable para las comunidades rurales, considerando sus limitaciones financieras.</p> <p>Seguridad y bajo mantenimiento: Un diseño que minimice riesgos, como incendios o descargas eléctricas, y que sea fácil de mantener utilizando recursos locales.</p>
<p><b>Atributos de Desempeño</b> (<i>One-dimensional</i>):</p>	<p>Regulación de Intensidad: La capacidad de ajustar manualmente la intensidad de la luz para adaptarse a diferentes actividades, como lectura o tareas generales, es crucial para optimizar el consumo energético.</p> <p>Durabilidad: Componentes resistentes a condiciones adversas como humedad, polvo y golpes, garantizando una vida útil prolongada en entornos rurales.</p>
<p><b>Atributos Atractivos</b> (<i>Delighters</i>)</p>	<p>Carga rápida en días nublados: Un sistema eficiente que pueda recargar rápidamente incluso con baja exposición solar representa un gran valor agregado en regiones con climas variables.</p>

---

Compatibilidad con otros dispositivos: La posibilidad de cargar dispositivos básicos como radios o teléfonos móviles mejora la funcionalidad del sistema y su utilidad para las familias rurales.

---

Nota: Tabla elaborada por el autor (2025) en base al modelo propuesto por Noriaki Kano (1984).

El análisis basado en el Modelo Kano identificó que la autonomía energética y el costo accesible corresponden a requisitos necesarios, mientras que la regulación de intensidad y la durabilidad se clasifican como atributos de desempeño que aumentan directamente la satisfacción del usuario. Asimismo, la carga rápida y la compatibilidad con otros dispositivos se consideran características atractivas que, aunque no son esperadas por los usuarios, aportan un valor adicional que diferencia positivamente al sistema frente a las alternativas actuales.

El Modelo Kano destaca que para el éxito del sistema de iluminación regulable y autónomo es fundamental equilibrar los atributos básicos con los de desempeño, mientras se integran selectivamente características atractivas que potencien la percepción de valor y utilidad en las comunidades rurales.

## **7.2 Definir requerimientos**

De la mano con los análisis realizados anteriormente se ponderarán los parámetros definidos anteriormente con la finalidad de jerarquizarlos según las necesidades y limitaciones económicas, geográficas, etc...

### **7.2.1 Prs (*Product Requirements Specification*)**

El PRS del sistema de iluminación autónomo y regulable para zonas rurales establece los requisitos que el producto debe cumplir para satisfacer las demandas del usuario, optimizar su funcionalidad y asegurar su durabilidad en condiciones adversas.

Los requisitos funcionales, como la iluminación ajustable y la autonomía energética, derivan de las necesidades identificadas en el QFD y el análisis FAST. Esto asegura que el producto cumpla con los estándares esperados por los usuarios finales. A continuación, se describen las características funcionales, técnicas, de usabilidad y económicos que orientan el diseño y desarrollo del sistema.

#### **7.2.1.1 Requisitos Funcionales**

- **Iluminación Regulable:** El sistema debe incluir un controlador manual que permita a los usuarios ajustar la intensidad de la luz en función de las actividades específicas, como estudio, tareas domésticas o circulación en la vivienda.
- **Autonomía Mínima:** La iluminación debe proporcionar un mínimo de 8 horas de luz continua en la noche después de un ciclo completo de carga solar diurna.
- **Energía Autónoma:** El sistema utilizará un panel solar para la captación de energía, asegurando su autonomía e independencia de la red eléctrica.
- **Almacenamiento de Energía:** Incluir una batería que almacene energía generada durante el día y libere energía según la demanda nocturna.

#### **7.2.1.2 Requisitos Técnicos**

- **Panel Solar:** Panel que funcione en condiciones de baja intensidad solar, proporcionando carga suficiente en días nublados o con luz moderada.
- **Batería de Larga Duración:** Batería recargable de ciclo profundo que permita al sistema conservar energía durante períodos prolongados sin necesidad de reemplazos frecuentes.

- Resistencia Climática: Componentes capaces de resistir condiciones de humedad, polvo y variaciones de temperatura en entornos rurales.
- Materiales Sustentables: Uso de materiales reciclables y de bajo impacto ambiental en la fabricación, preferentemente accesibles en el mercado local para facilitar el mantenimiento o reemplazo.
- Diseño Modular: La estructura debe ser modular, permitiendo que los usuarios puedan realizar reparaciones y reemplazos de componentes sin requerir conocimientos técnicos avanzados o herramientas especializadas.

#### **7.2.1.3 Requisitos de Usabilidad**

- Facilidad de Uso: El sistema debe contar con un diseño intuitivo y accesible, permitiendo ajustes en la intensidad de luz sin complejidad.
- Bajo Mantenimiento: El sistema debe requerir un mantenimiento mínimo y poder funcionar de manera eficiente con un mantenimiento ocasional por parte de los usuarios.
- Indicador de Estado de Carga: Incluir un indicador visual o auditivo que informe al usuario sobre el nivel de carga de la batería y la disponibilidad de energía.

#### **7.2.1.4 Requisitos Económicos y de Sostenibilidad**

- Costo Accesible: El precio total del sistema debe ser accesible para comunidades de bajos ingresos, considerando tanto el costo inicial como los costos de mantenimiento y reemplazo.

- **Bajo Impacto Ambiental:** Empleo de materiales y componentes con bajo impacto ambiental, buscando reducir la huella de carbono y minimizar el uso de recursos no renovables.
- **Ciclo de Vida Prolongado:** La vida útil del sistema debe ser extensa, con componentes duraderos que resistan el desgaste y prolonguen su utilidad sin necesidad de reemplazo continuo.

Estos requisitos aseguran que el sistema de iluminación autónomo y regulable sea funcional, accesible y duradero, respondiendo adecuadamente a las demandas de las comunidades rurales y optimizando tanto el impacto social como ambiental.

### **7.3 Definir el modelo de negocios**

Para concluir con la etapa de definición se estructurará un modelo de negocios relacionando algunos conceptos hallados en las fases anteriores con la intención de hallar un mercado, orientar el proyecto y a su vez evaluar la viabilidad de este.

El Modelo de Negocio del sistema de iluminación autónomo y regulable tiene como objetivo proporcionar una solución asequible y sostenible para comunidades rurales con acceso limitado a la electricidad. Este modelo busca no solo ofrecer un producto innovador y funcional, sino también fomentar la autosuficiencia energética y contribuir al desarrollo sostenible de estas áreas. A continuación, se detallan los elementos clave del modelo utilizando tres enfoques estratégicos: Canvas, Cinco Fuerzas de Porter, y PESTEL.

### 7.3.1 Canvas

El modelo Canvas permitió estructurar la idea del sistema de iluminación dentro de un esquema claro y visual. Como se presenta en la Tabla 6, la organización de la información en bloques como segmentos de usuarios, recursos necesarios y alianzas clave facilita identificar los componentes esenciales que sostienen la propuesta. Este ejercicio permitió verificar la coherencia interna del proyecto y determinar la viabilidad del concepto dentro del contexto rural, considerando las limitaciones propias del entorno.

**Tabla 6**

Canvas.

<b>segmento de clientes</b>	<b>comunidades rurales sin acceso estable a la red eléctrica, ONG y entidades gubernamentales enfocadas en mejorar el bienestar rural</b>
<b>propuesta de valor</b>	sistema de iluminación autónomo, regulable, asequible y fácil de mantener, diseñado para mejorar la calidad de vida y adaptarse a actividades diversas en zonas rurales
<b>canales de distribución</b>	distribución a través cooperativas locales y talleres comunitarios, asegurando que el sistema llegue a las comunidades objetivo de manera eficiente
<b>relación con clientes</b>	programas de capacitación y sensibilización, soporte técnico ocasional, y talleres comunitarios sobre energía sostenible
<b>fuentes de ingresos</b>	venta directa del sistema, subversiones gubernamentales, apoyo de ONG y microcréditos para facilitar el acceso a los usuarios de bajos ingresos
<b>recursos clave</b>	tecnología de fuente y baterías, materiales sostenibles y reciclables, redes de distribución en áreas rurales y personal técnico capacitado
<b>actividades clave</b>	investigación y desarrollo, fabricación sostenible, alianzas con gobiernos y ONG, campañas de sensibilización y soporte técnico
<b>socios clave</b>	ONG enfocadas en el desarrollo rural, entidades gubernamentales, proveedores de tecnología solar, fabricantes de baterías y distribuidores locales.

---

**estructura de costos**      costos de producción, costos de distribución, costos de sensibilización y soporte técnico en las comunidades

---

Nota: Tabla elaborada por el autor (2025) en base al modelo propuesto por Osterwalder y Pigneur (2005).

### 7.3.2 Porter

Para comprender con mayor claridad las condiciones que enfrenta la propuesta de iluminación en las comunidades rurales, fue necesario mirar más allá de lo técnico. No se trata solo de diseñar un sistema eficiente, sino de entender qué tan viable puede ser frente a la realidad del mercado y los actores que intervienen en él. En este punto, resultó útil emplear la herramienta desarrollada por Porter, pues permite identificar cómo distintos factores externos como la competencia, la disponibilidad de alternativas o la relación con proveedores pueden influir en la adopción y sostenibilidad del proyecto. De esta manera, el análisis no se queda en lo teórico, sino que se convierte en un insumo para tomar decisiones más acertadas sobre el diseño y alcance del sistema.

**Figura 6**

Porter.



Nota: Análisis realizado por el autor (2025) en base al modelo de Porter (1979)

El análisis de Porter presentado en la Figura 6 muestra un mercado con barreras de entrada moderadas y pocas amenazas de sustitución. La clave para competir será fortalecer las alianzas con gobiernos y ONG y mantener costos bajos mediante acuerdos estratégicos con proveedores.

### 7.3.3 PESTEL

El análisis PESTEL sirve para ampliar la mirada hacia factores externos que podrían afectar la implementación del sistema en las comunidades. Elementos como las políticas energéticas, la situación económica local, los cambios sociales o incluso los avances tecnológicos, no pueden ignorarse cuando se piensa en una solución de este tipo. Examinar estas variables ayuda a prever posibles barreras y también a identificar oportunidades que, de otra manera, pasarían desapercibidas. En este sentido, el análisis PESTEL presentado en la Tabla 7 no fue un fin en sí mismo, sino una herramienta para reconocer el entorno en el que se busca que el proyecto tenga impacto.

**Tabla 7**

Pestel.

<b>P</b>	<b>Político</b>	<b>Políticas gubernamentales y programas de electrificación rural pueden apoyar la distribución del sistema en comunidades remotas. también pueden existir incentivos para la sostenibilidad, como subsidios a productos con energía renovable.</b>
<b>E</b>	Económico	Las comunidades objetivo tienen recursos económicos limitados, por lo que el modelo debe considerar precios accesibles y opciones de financiamiento. además, los costos de producción pueden estar sujetos a variaciones en los precios de los materiales clave como el silicio y las baterías.

S	Social	Las comunidades rurales suelen tener poca experiencia con tecnología avanzada, por lo que la capacitación y el soporte son esenciales para asegurar la adopción. la mejora en las condiciones de vida, incluyendo la seguridad y la productividad en el hogar, aumenta la aceptación de soluciones innovadoras.
T	Tecnológico	La tecnología solar está en constante avance, lo que permite el desarrollo de paneles más eficientes y baterías de mayor duración a menores costos. es importante monitorear estas tendencias para incorporar mejoras al sistema de iluminación.
E	Ecológico	El proyecto debe alinearse con prácticas sostenibles para reducir el impacto ambiental, utilizando materiales reciclables y un diseño de bajo consumo. además, la adopción de energía solar contribuye a la reducción de emisiones de co2.
L	Legal	Las regulaciones ambientales y normativas de seguridad deben ser respetadas, asegurando que el producto cumpla con estándares nacionales e internacionales de calidad y sostenibilidad.

Nota: Análisis realizado por el autor (2025) en base al modelo de Aguilar (1967)

El entorno político y tecnológico favorece el desarrollo de un sistema de iluminación autónomo. La sostenibilidad y la accesibilidad resultan fundamentales para el éxito del proyecto, especialmente porque el contexto económico y social de las comunidades rurales exige productos asequibles y fáciles de usar. El análisis PESTEL también permitió identificar la importancia de utilizar materiales accesibles, como componentes reciclados disponibles localmente, lo que refuerza la viabilidad del sistema y su alineación con las condiciones sociales y económicas de la población objetivo.

## 8. Diseño del producto

Se da inicio al proceso creativo donde se condensarán datos pertinentes obtenidos anteriormente como el usuario arquetipo el mapa de empatía que en conjunto con los

requerimientos previamente evaluados darán material para generar alternativas viables para diseñar un sistema de iluminación autónomo que brinde una iluminación regulable.

## **8.1 Brief del producto**

El Brief del Producto detalla los elementos fundamentales que guían el desarrollo del sistema de iluminación autónomo y regulable. Este documento integra el contexto del proyecto, las necesidades del público objetivo, la propuesta de valor y las características clave del producto. Su propósito es asegurar que cada aspecto del diseño esté alineado con las expectativas de los usuarios y los objetivos del proyecto.

### ***8.1.1 Contexto del Proyecto***

En zonas rurales el acceso a electricidad es limitado o inexistente, lo que impide a las comunidades realizar actividades esenciales después del atardecer. Esta situación afecta la seguridad, la productividad y la calidad de vida de los habitantes, perpetuando desigualdades sociales y económicas.

El proyecto plantea el desarrollo de un sistema de iluminación autónomo y regulable que funcione de manera independiente de la red eléctrica, adaptándose a las necesidades visuales específicas de los usuarios. Además de proporcionar luz, se busca que este sistema favorezca la realización de actividades como el estudio, el trabajo y las tareas domésticas en condiciones más seguras y adecuadas. El uso de materiales reciclables y tecnologías accesibles pretende aportar a una alternativa viable y sostenible, coherente con las condiciones y recursos disponibles en las comunidades rurales.

### **8.1.2 Público Objetivo**

El sistema de iluminación autónomo y regulable está dirigido a familias y comunidades rurales que enfrentan desafíos significativos debido a la falta de acceso estable a la electricidad. Este público se caracteriza por habitar zonas geográficamente aisladas, donde la infraestructura eléctrica es inexistente o insuficiente, lo que limita las actividades cotidianas.

En términos sociodemográficos, el público objetivo incluye personas con bajos ingresos económicos, que dependen de fuentes de iluminación tradicionales como velas, lámparas de queroseno o linternas de batería. Estas alternativas, aunque comunes, son costosas, peligrosas y poco sostenibles.

#### **8.1.2.1 Perfiles Generales del Público Objetivo**

Los grupos familiares incluyen hogares compuestos por padres que buscan mejorar la seguridad, la educación y el bienestar general de sus hijos mediante un sistema de iluminación confiable y asequible. También se consideran los trabajadores rurales, como agricultores, artesanos y pequeños emprendedores que requieren iluminación para realizar tareas productivas en horarios nocturnos, lo que les permite incrementar su productividad y calidad de vida. Finalmente, se incluyen los líderes comunitarios y las organizaciones locales, quienes actúan como actores clave interesados en implementar soluciones sostenibles que beneficien a toda la comunidad.

#### **8.1.2.2 Necesidades Detectadas**

Entre las necesidades identificadas se encuentran la iluminación regulable que permita realizar diferentes actividades con comodidad, soluciones de bajo costo inicial y con un

mantenimiento mínimo accesibles para familias con recursos limitados, sistemas seguros que eliminen los riesgos asociados a métodos tradicionales de iluminación y diseños intuitivos y fáciles de usar que no requieran capacitación técnica avanzada. Además, se destaca la importancia de generar un impacto positivo a largo plazo en la educación, la salud y la productividad. Esta segmentación permite enfocar el diseño del sistema en resolver los problemas prácticos y emocionales más relevantes, maximizando su impacto en las comunidades objetivo.

### ***8.1.3 Propuesta de Valor***

El sistema de iluminación ofrecerá una solución sostenible, asequible y adaptable que mejorará significativamente la calidad de vida en zonas rurales. A través del uso de energía solar y un diseño modular, proporcionará autonomía energética al funcionar de manera independiente mediante energía renovable y una batería recargable de larga duración. Asimismo, permitirá ajustar la intensidad de la luz según las necesidades del usuario, adaptándose a actividades específicas como estudio, trabajo o descanso. Su facilidad de mantenimiento se garantiza mediante un diseño modular y duradero que minimiza los requerimientos técnicos, favoreciendo su uso continuo en comunidades con acceso limitado a servicios especializados. Finalmente, su sostenibilidad se refuerza gracias a la fabricación con materiales reciclables y de bajo impacto ambiental, lo que reduce la huella ecológica y promueve el aprovechamiento de recursos locales.

#### **8.1.3.1 Objetivos del Producto**

El sistema busca garantizar una funcionalidad que ofrezca iluminación confiable y ajustable para las tareas cotidianas, al mismo tiempo que proporciona una alternativa segura

frente a métodos tradicionales de alto riesgo, como las lámparas de queroseno. Asimismo, integra criterios de sostenibilidad mediante el uso de materiales reciclables y un sistema de bajo consumo que reduzca la huella ambiental del producto. Finalmente, procura mantener un costo accesible para maximizar su impacto social y facilitar su adopción dentro de las comunidades objetivo.

### **8.1.3.2 Características Técnicas Clave**

El sistema incorpora paneles solares de alta eficiencia capaces de capturar y almacenar suficiente energía incluso en condiciones de baja luz, junto con una batería de ciclo profundo que garantiza un almacenamiento duradero y permite al menos ocho horas de funcionamiento continuo durante la noche. Además, cuenta con un control de intensidad manual que permite ajustar la iluminación según las actividades que realice el usuario. Finalmente, su diseño modular y fácil de reparar incluye componentes reemplazables y materiales resistentes a las condiciones ambientales de las zonas rurales, lo que facilita su mantenimiento y prolonga su vida útil.

### **8.1.3.3 Principales Diferenciadores**

El sistema destaca por su ajustabilidad y autonomía, ya que, mientras otros dispositivos solares solo proporcionan iluminación básica, este permite regular la intensidad de la luz y operar de forma completamente autónoma, lo que maximiza su utilidad. Además, se caracteriza por su simplicidad en el uso, con un diseño intuitivo que no requiere conocimientos técnicos y que permite a cualquier miembro de la comunidad utilizarlo y realizar el mantenimiento básico sin dificultades.

Este sistema representa más que una solución técnica; es una herramienta para la transformación social y económica de las comunidades rurales. Al integrar accesibilidad, sostenibilidad y funcionalidad, responde directamente a las necesidades de las personas que más lo necesitan, convirtiéndose en un modelo de desarrollo equitativo y resiliente.

El *moodboard* presentado a continuación refleja la identidad del producto, con tonos naturales y elementos visuales de tecnología solar, sostenibilidad y adaptabilidad al entorno rural.

## 8.2 Moodboard

El *moodboard* ilustrado en la Figura 7 representa la esencia del sistema de iluminación autónomo y regulable, diseñado para comunidades rurales. Se han seleccionado imágenes y conceptos que destacan la sostenibilidad, la autonomía energética, y el impacto social de la solución. Desde la simplicidad en el mantenimiento y la facilidad de uso, hasta el uso de materiales duraderos y eco-amigables, el *moodboard* visualiza los pilares fundamentales del proyecto: accesibilidad, funcionalidad, y respeto por el entorno rural.

**Figura 7**

*Moodboard.*



Nota: *Moodboard* elaborado por el autor (2025) en base a referentes visuales.

### **8.3 Alternativas**

Teniendo lo anterior en cuenta se definirán las alternativas siguiendo los criterios de sostenibilidad planteados en la metodología ARZ, definiendo materiales y sistemas de bajo impacto y costo.

#### ***8.3.1 Panel de Diodos Fotovoltaicos***

Los componentes principales incluyen diodos expuestos, conexiones en serie y paralelo, una batería recargable de bajo consumo y un LED eficiente. Para los diodos expuestos se emplearán diodos de silicio, los cuales actúan de manera similar a pequeñas celdas solares cuando su unión PN está expuesta a la luz. Estos se conectarán en serie para aumentar el voltaje y en paralelo para incrementar la corriente total. La energía se almacenará en una batería recargable de bajo consumo, como una AA o una pequeña batería de litio, que almacenará la carga generada durante el día. Finalmente, para la iluminación nocturna se utilizará un LED de bajo consumo, ideal debido a su alta eficiencia y bajo uso energético.

El diseño del panel consiste en exponer directamente los materiales semiconductores de los diodos a la luz solar, lo cual se logra retirando su encapsulado para maximizar la absorción lumínica. Estos diodos se distribuirán sobre un marco o placa similar a un mini panel solar, protegido por una cubierta transparente —como acrílico— que permite el paso de la luz mientras protege a los componentes. La combinación de conexiones en serie y paralelo permitirá optimizar tanto el voltaje como la corriente generada. La energía producida se almacenará en una batería pequeña, y debido al bajo voltaje generado por los diodos, resulta fundamental emplear baterías de bajo consumo y preferiblemente recargables, como AA de NiMH o baterías de litio de 3,7 V.

Durante el día, los diodos expuestos a la luz solar generarán una pequeña corriente que se almacenará progresivamente en la batería. Aunque la eficiencia energética de este sistema es baja, en zonas con buena exposición solar debería permitir una carga parcial suficiente para su uso nocturno. Al anochecer, la energía acumulada podrá alimentar un LED de bajo consumo, proporcionando iluminación básica para actividades esenciales como lectura o pequeñas tareas.

El sistema presenta varias ventajas, entre ellas su bajo costo, dado que utiliza diodos económicos, una batería pequeña y un LED eficiente. También destaca su simplicidad y resiliencia, ya que requiere pocos componentes, todos fáciles de reemplazar y con bajo mantenimiento. Aunque su autonomía es limitada, resulta útil como un sistema de respaldo en situaciones donde se necesita poca energía, pero se considera crucial contar con una fuente alternativa.

Entre las limitaciones principales se encuentra su baja eficiencia, debido a que los diodos no alcanzan el rendimiento de las celdas solares convencionales, lo que reduce la cantidad total de energía generada. Además, esta alternativa no está diseñada para iluminar grandes áreas; se orienta más hacia tareas específicas, funcionando como un sistema auxiliar o de emergencia.

Se propone construir un prototipo compuesto por aproximadamente 50 a 100 diodos conectados en serie-paralelo y vinculados a una batería de bajo consumo. Las pruebas iniciales deberían realizarse en condiciones de luz moderada a alta, con el fin de evaluar la cantidad de carga generada y estimar la duración de la iluminación proporcionada durante la noche.

### ***8.3.2 Sistema de Iluminación con Batería de Dinamo Manual***

Este sistema utiliza una dinamo manual (similar a las usadas en linternas de emergencia) para generar energía a través del movimiento. Es una solución que no depende de la luz solar,

ideal para situaciones en las que no haya suficiente luz diurna o en días nublados, y permite a los usuarios generar la energía que necesitan en el momento.

El sistema con dínamo manual está compuesto por un mecanismo que genera electricidad al girarse o presionarse, produciendo una pequeña corriente que se almacena en una batería de bajo consumo para permitir un uso constante. La iluminación se obtiene mediante un LED de bajo consumo, mientras que un interruptor permite encender o apagar el sistema según la necesidad, contribuyendo al ahorro de energía.

Este tipo de solución presenta varias ventajas: no depende de la luz solar, por lo que funciona en cualquier condición climática; brinda control total al usuario, quien puede generar energía en el momento que la requiera; y mantiene un bajo costo gracias al uso de componentes simples y accesibles. Sin embargo, también tiene limitaciones importantes. Requiere esfuerzo físico para generar energía, lo que puede resultar incómodo si se necesita iluminación prolongada, y ofrece una capacidad limitada, ya que está diseñado principalmente para iluminación breve o de emergencia.

Aun con estas restricciones, esta alternativa permite que los usuarios generen la energía que necesitan en momentos puntuales, siendo especialmente útil para comunidades con poca exposición solar constante o como un sistema de respaldo en días nublados.

### ***8.3.3 Sistema de Iluminación de Batería Salina***

El sistema de iluminación basado en una batería salina utiliza una reacción química entre una solución de agua salada y electrodos de magnesio y cobre para generar electricidad. Esta tecnología resulta especialmente adecuada para zonas rurales, ya que la batería puede “recargarse” simplemente reemplazando la solución salina cuando se agota. El funcionamiento

del sistema se apoya en electrodos de magnesio y cobre que producen electricidad al entrar en contacto con la solución salina, la cual actúa como electrolito y puede renovarse con facilidad. La energía generada se almacena en una pequeña batería, lo que permite un uso continuo, y posteriormente alimenta un LED de bajo consumo encargado de proporcionar iluminación eficiente.

Este sistema ofrece varias ventajas relevantes: su autonomía y facilidad de recarga, ya que solo requiere agregar agua salada sin necesidad de electricidad externa; su bajo impacto ambiental, debido al uso de materiales seguros y reciclables; y su idoneidad para zonas rurales, dado que funciona con recursos comunes como el agua y la sal, lo que facilita su mantenimiento y reactivación. Sin embargo, también presenta limitaciones, como su baja producción de potencia, adecuada únicamente para dispositivos de muy bajo consumo, y la necesidad de reemplazar los electrodos después de un periodo prolongado de uso.

A pesar de estas restricciones, la batería salina constituye una alternativa sostenible que se adapta de manera favorable a las condiciones de áreas rurales, ofreciendo un sistema de bajo mantenimiento y prácticamente sin costos adicionales gracias a su capacidad de recarga mediante agua salada.

#### ***8.3.4 Diodos Solares + Batería Salina***

En esta alternativa, los diodos solares generan energía durante el día y la almacenan en una batería salina para permitir su uso durante la noche. El sistema emplea diodos reciclados provenientes de placas electrónicas obsoletas, junto con electrodos de hierro o magnesio y una solución salina compuesta por agua y sal, además de un LED de bajo consumo encargado de proporcionar la iluminación.

Esta combinación ofrece ventajas importantes, ya que maximiza la autonomía al integrar generación solar con almacenamiento químico y permite construir ambos sistemas utilizando materiales reciclados. No obstante, presenta la limitación de requerir pruebas adicionales para equilibrar adecuadamente la carga de la batería salina con la energía producida por los diodos.

### ***8.3.5 Panel Solar Casero + Dinamo Manual***

En esta alternativa, un pequeño panel solar casero construido a partir de diodos o LEDs reciclados se encarga de cargar una batería durante el día, mientras que una dinamo manual funciona como sistema de respaldo durante la noche o en días nublados. El diseño utiliza componentes accesibles como diodos o LEDs recuperados, una dinamo obtenida de bicicletas u otros dispositivos y una batería recargable de bajo consumo.

Esta solución resulta especialmente accesible y confiable, ya que opera adecuadamente en cualquier condición climática y permite aprovechar el esfuerzo manual como fuente de energía en situaciones de emergencia. Sin embargo, su principal limitación es que la dinamo requiere esfuerzo físico para generar la energía necesaria.

### ***8.3.6 Fibra Óptica Solar + Generador Piezoeléctrico***

En esta alternativa, la luz solar captada mediante fibra óptica o mediante tubos plásticos que cumplen una función similar se utiliza para proporcionar iluminación durante el día, mientras que un generador piezoeléctrico construido con discos reciclados de encendedores produce pequeñas cantidades de energía que permiten alimentar LEDs de bajo consumo durante la noche. El sistema emplea materiales accesibles como fibra óptica o tubos plásticos, discos piezoeléctricos recuperados y LEDs eficientes.

Esta propuesta combina de manera innovadora fuentes pasivas y activas de energía, y resulta especialmente viable en comunidades donde existen desechos electrónicos que pueden reutilizarse. No obstante, se considera un sistema más experimental, ya que requiere ajustes adicionales para optimizar el rendimiento del generador piezoeléctrico.

### 8.3.7 Turbina Eólica Casera + Batería Salina

En esta alternativa, una turbina eólica casera genera energía aprovechando las condiciones de viento y almacena dicha energía en una batería salina para permitir su uso durante la noche. El sistema puede construirse utilizando aspas elaboradas con botellas de plástico o con piezas metálicas, junto con un alternador o una dinamo recuperada de bicicletas o pequeños motores, además de una batería salina que actúa como medio de almacenamiento.

Esta propuesta resulta especialmente útil en zonas donde el viento es constante, y la batería salina contribuye a reducir la necesidad de sistemas de almacenamiento más costosos. Sin embargo, su funcionamiento depende directamente de las condiciones de viento disponibles, lo que constituye su principal limitación.

## 8.4 Conceptboard

**Figura 8**

Conceptboard.



Nota: *Conceptboard* elaborado por el autor (2025) en base a elementos visuales e inspiradores.

Una vez establecido el enfoque de diseño con ayuda del *conceptboard* representado en la Figura 8, se analizarán diferentes alternativas tecnológicas para determinar la opción más viable, considerando criterios de eficiencia, costo y sostenibilidad.

## **8.5 Evaluación de alternativas (fuente de energía)**

Esta etapa es fundamental para garantizar que el sistema final cumpla con los requisitos técnicos, económicos y de sostenibilidad. Este proceso analiza diversas opciones bajo criterios como costo, accesibilidad y viabilidad en comunidades rurales. Las principales alternativas incluyen baterías salinas y sistemas de dinamo manual, destacadas por su bajo costo y capacidad de generar energía en cualquier condición climática. Cada alternativa tiene ventajas y limitaciones que guían la selección final.

### ***8.5.1 Análisis de las Alternativas Actuales***

Para esta etapa se analizaron diferentes alternativas disponibles que podrían responder, en mayor o menor medida, a las necesidades de iluminación en contextos rurales. Como se muestra en la Tabla 8, el propósito no fue solo listar las opciones existentes, sino examinar cómo funcionan, cuáles son sus limitaciones y qué ventajas ofrecen frente a las condiciones reales de uso. Este análisis resulta importante porque permite reconocer qué elementos son rescatables para adaptarlos al sistema propuesto.

**Tabla 8**

Análisis de las Alternativas.

alternativas	Ventajas	limitaciones
<b>Diodos y leds reciclados como paneles solares</b>	Alineado con la sostenibilidad y uso de materiales reciclables; accesible en zonas rurales.	Baja eficiencia y requiere un diseño optimizado para generar potencia suficiente.
<b>Baterías salinas</b>	Bajo costo y alta accesibilidad de materiales (sal, agua, metales comunes).	Producción limitada de energía; requiere reemplazo frecuente de electrodos y solución salina.
<b>Dinamo manual o a pedal</b>	Genera energía en cualquier momento y no depende de condiciones externas como luz solar.	Esfuerzo físico constante; potencia limitada.
<b>Tubos de luz solar o fibras ópticas</b>	Solución pasiva y sostenible para iluminación diurna; ideal para áreas interiores.	Funciona solo durante el día y requiere materiales específicos.
<b>Batería de hierro-aire</b>	Materiales accesibles (hierro); solución sostenible y duradera.	Aún experimental para uso en aplicaciones prácticas.
<b>Turbina eólica casera</b>	Excelente en áreas con vientos constantes; puede generar más potencia que las otras alternativas.	Menos viable en zonas sin viento constante.

Nota: análisis realizado por el autor (2025) en base a las observaciones obtenidas en la etapa 7

El análisis permitió identificar que, aunque todas las alternativas presentan aportes valiosos y responden parcialmente a las necesidades de iluminación en contextos rurales, ninguna resulta completamente suficiente por sí sola. Las limitaciones encontradas, ya sea en costo, durabilidad, accesibilidad o facilidad de mantenimiento, evidencian la necesidad de un diseño que tome lo mejor de estas propuestas y lo adapte a las condiciones reales de uso. Este proceso comparativo, más allá de descartar opciones, sirvió para resaltar aquellos aspectos clave

que resultan determinantes en el desarrollo de un sistema de iluminación realmente viable y ajustado a la vida cotidiana de las comunidades rurales.

### ***8.5.2 Ponderación de Parámetros***

Se establecieron criterios de ponderación que permiten comparar de manera objetiva las diferentes soluciones propuestas. La asignación de pesos responde a la importancia relativa de cada criterio dentro del proyecto, considerando factores económicos, de accesibilidad y de sostenibilidad, en coherencia con las necesidades identificadas en la comunidad y con el propósito de orientar el diseño hacia un sistema autónomo, accesible y capaz de ajustar su intensidad de iluminación.

Los parámetros definidos y su porcentaje de ponderación fueron los siguientes: el costo, con un 25 %, debido a que constituye un factor decisivo para la viabilidad del sistema dentro del contexto económico limitado de las comunidades rurales; la accesibilidad, con un 20 %, relacionada con la disponibilidad de componentes y su facilidad de adquisición, aspectos clave para la replicabilidad y el mantenimiento; la sostenibilidad, con un 15 %, que prioriza el uso de materiales reciclables y de bajo impacto ambiental; y la producción de energía, también con un 15 %, asociada a la capacidad de cada alternativa para cubrir las necesidades energéticas básicas de los usuarios, especialmente durante la noche.

Asimismo, se asignó un 10 % a la duración, con el fin de disminuir costos recurrentes y asegurar beneficios prolongados; otro 10 % a la facilidad de implementación, considerando la importancia de contar con sistemas simples de instalar, usar y mantener en zonas con acceso limitado a mano de obra especializada; y un 5 % a la versatilidad, entendida como la capacidad de adaptación de cada alternativa a diferentes condiciones de uso dentro del entorno rural.

**Tabla 9**

Evaluación de alternativas (fuente de energía).

<b>alternativa</b>	<b>costo</b>	<b>accesibilidad</b>	<b>sostenibilidad</b>	<b>producción de energía</b>	<b>duración</b>	<b>facilidad de implementación</b>	<b>versatilidad</b>	<b>total</b>
<b>batería salina</b>	9	8,5	7,5	7	7,5	8	7	80,5
<b>panel de diodos reciclados</b>	8,5	8	8,5	6,5	7	7,5	7	79,5
<b>dinamo manual o a pedal</b>	8	8	7	6,5	8	8,5	7	79
<b>batería de hierro aire</b>	7,5	7	8	7	7,5	7	6,5	76,5
<b>tubos de luz solar</b>	7,5	8,5	8,5	5,5	7	7,5	6,5	76
<b>turbina eólica casera</b>	6	5,5	7	8	7,5	6,5	7,5	71,5

Nota: Evaluación realizada por el autor (2025) implementando los criterios de las características.

La evaluación de las alternativas presentada en la Tabla 9 refleja un análisis detallado que considera criterios clave como el costo, la accesibilidad y la sostenibilidad. Entre los resultados, las baterías salinas, con un puntaje de 80.5, se destacan como la alternativa más equilibrada, ya que combinan un costo relativamente bajo con buena accesibilidad y facilidad de implementación, lo que las convierte en una solución especialmente adecuada para comunidades rurales. Aunque su producción de energía no es la más alta, resulta suficiente para cubrir las necesidades básicas del público objetivo.

El panel de diodos reciclados, con 79.5 puntos, se perfila como una solución económica y sostenible, basada en materiales accesibles y particularmente atractiva para aplicaciones de bajo consumo o para contextos donde los recursos reciclados están disponibles. Por su parte, el dínamo manual o a pedal, que obtuvo 79.0 puntos, destaca por su versatilidad y facilidad de uso, lo que la convierte en una opción confiable en comunidades donde las condiciones climáticas no favorecen la energía solar.

La batería de hierro-aire, con 76.5 puntos, ofrece buena duración y sostenibilidad, aunque su implementación es más compleja en comparación con las alternativas mejor puntuadas. Los tubos de luz solar, que alcanzan 76.0 puntos, se caracterizan por su accesibilidad y sostenibilidad, pero su limitada producción de energía y su menor versatilidad restringen su aplicabilidad. Finalmente, la turbina eólica casera, con 71.5 puntos, resulta la opción menos viable debido a su baja accesibilidad y a la complejidad técnica requerida, aunque su elevada producción de energía puede ser aprovechada en entornos con condiciones de viento constantes.

En conjunto, los resultados de la evaluación permiten concluir que las baterías salinas representan la opción más viable para el sistema de iluminación autónomo gracias a su adecuado equilibrio entre costo, accesibilidad y sostenibilidad. Alternativas como los paneles de diodos reciclados y el dínamo manual o a pedal también presentan características competitivas, ofreciendo soluciones adaptadas a diferentes condiciones y necesidades. Por otro lado, opciones como los tubos de luz solar y las baterías de hierro-aire, aunque técnicamente factibles, enfrentan limitaciones en términos de versatilidad y facilidad de implementación, mientras que la turbina eólica casera resulta adecuada únicamente en contextos donde el viento constituye una fuente energética estable.

Este análisis permite priorizar las alternativas que maximicen el impacto del proyecto y asegurar que las soluciones seleccionadas respondan eficazmente tanto a las necesidades del público objetivo como a las condiciones propias del entorno rural.

### **8.5.2.1 Batería Salina**

Las baterías de aluminio-aire representan una alternativa energética especialmente adecuada para contextos rurales, ya que son más económicas que las baterías de litio, no dependen de materiales escasos y resultan más fáciles de reciclar. Estas características son fundamentales en comunidades donde los recursos económicos son limitados y las opciones de mantenimiento son reducidas. Su funcionamiento se basa en una reacción electroquímica entre el aluminio y el oxígeno del aire, lo que permite aprovechar un material abundante, reciclable y de bajo costo. Además, su diseño simple facilita tanto el mantenimiento como la sustitución del aluminio cuando se agota, aspectos que incrementan su utilidad en zonas apartadas.

Desde una perspectiva técnica, la batería opera mediante la reacción del aluminio, que actúa como ánodo, y el oxígeno del aire, que funciona como cátodo, en presencia de un electrolito. La cantidad de energía generada depende directamente de la masa de aluminio utilizada. Para este proyecto se tomó como referencia un valor aproximado de 1.6 Wh por gramo de aluminio, dato que permite realizar cálculos precisos de energía disponible para la iluminación.

El sistema está diseñado para iluminar un área de 0.5 m<sup>2</sup> —equivalente al espacio de un escritorio— alcanzando niveles de entre 150 y 200 lux, adecuados para actividades como lectura o trabajo. Para cumplir con estos requerimientos, se considera un LED de 1 W con una eficiencia cercana a los 80 lm/W, suficiente para entregar el flujo luminoso necesario. Con

aproximadamente 100 lúmenes, es posible generar alrededor de 200 lux sobre dicha superficie, lo cual coincide con los estándares establecidos por la CIE para tareas de exigencia visual media.

En cuanto a la energía disponible, utilizando 15 gramos de aluminio aproximadamente el peso de una lata reciclada la batería puede generar cerca de 24 Wh ( $1.6 \text{ Wh/g} \times 15 \text{ g}$ ). Esta capacidad permite alimentar un LED de 1 W durante aproximadamente 24 horas continuas. Aunque el aluminio se consume durante la operación, su reposición es sencilla y económica, ya que puede reemplazarse utilizando material reciclado disponible comúnmente en las comunidades rurales. Esto facilita la continuidad del sistema sin depender de tecnología especializada.

Respecto al cátodo, compuesto generalmente de carbono o grafito, su desgaste es mínimo en comparación con el del aluminio. Aunque puede oxidarse lentamente debido a su contacto con el oxígeno, su durabilidad es significativamente mayor y no representa un factor limitante en la vida útil de la batería. En la práctica, el componente que requiere sustitución periódica es el aluminio, que se va degradando a medida que reacciona durante la producción de energía.

Tras la evaluación de diversas alternativas energéticas, la batería de aluminio-aire se seleccionó como la opción más adecuada para el sistema de iluminación autónomo. Esta elección se sustenta en la disponibilidad del aluminio reciclado, su bajo costo operativo, su sostenibilidad y su capacidad para proporcionar entre cinco y diez días de iluminación en actividades domésticas y educativas. Además, su facilidad de reemplazo garantiza que las comunidades puedan mantener el sistema sin depender de asistencia técnica especializada, lo que contribuye a su implementación a largo plazo. En conjunto, estos factores validan que esta solución responde de manera eficaz a las necesidades del proyecto y a las condiciones propias del entorno rural.

## **8.6 Evaluación de Alternativas (Regulación de Iluminación)**

Esta sección evalúa los diferentes mecanismos para regular la intensidad de la iluminación, considerando su viabilidad técnica, accesibilidad, facilidad de uso y adaptabilidad a las condiciones del entorno, con el propósito de seleccionar la solución que mejor se integre al sistema de iluminación autónomo y regulable. Para ello, los mecanismos fueron analizados a partir de varios criterios. El primero corresponde a la precisión de ajuste, relacionada con la capacidad del sistema para ofrecer niveles específicos de iluminación, como 200, 150, 100 y 50 lux. El segundo criterio es la facilidad de uso, que busca asegurar que el mecanismo sea intuitivo y sencillo de operar para los usuarios. También se evaluó el costo y la disponibilidad de los materiales, enfatizando la factibilidad de fabricar el mecanismo con elementos accesibles y, de ser posible, reciclables. Finalmente, se consideró la durabilidad y el mantenimiento, valorando la resistencia del sistema ante condiciones adversas y la posibilidad de realizar reparaciones básicas dentro del contexto rural.

### ***8.6.1 Alternativas Evaluadas***

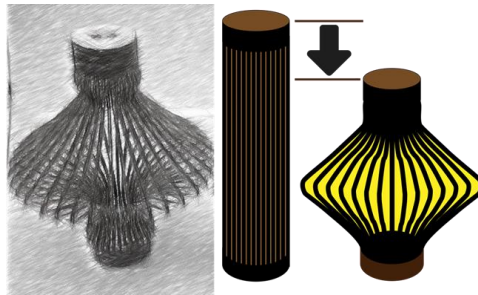
En esta etapa se recopilaron y organizaron diferentes mecanismos de iluminación que actualmente se emplean como posibles soluciones en contextos similares al planteado en el proyecto actual. El objetivo de este análisis no fue únicamente describir cada alternativa, sino reconocer cuáles de sus características podrían aportar al diseño del sistema propuesto y cuáles, por el contrario, representan limitaciones en el entorno rural. De esta manera, se logra tener un panorama comparativo que permite fundamentar la selección de los componentes más viables para el proyecto.

### 8.6.1.1 Mecanismo de Persiana

Este mecanismo figura 9 se basa en tiras de cartón, plástico reciclado o madera delgada que pueden inclinarse o deslizarse para modular la cantidad de luz que atraviesa el sistema. En cuanto a su evaluación, presenta una precisión de ajuste media, ya que permite un control gradual de la iluminación, aunque la exactitud depende directamente del diseño específico. Su facilidad de uso es alta, pues es un mecanismo intuitivo y sencillo de manipular. Respecto al costo y la disponibilidad, también obtiene una valoración alta, debido a que puede construirse con materiales reciclados o de bajo costo. Sin embargo, su durabilidad y mantenimiento se clasifican como medios, dado que algunas piezas pueden desgastarse con el tiempo y su reparación puede resultar algo limitada. En conclusión, es una opción viable, aunque requiere una calibración precisa para alcanzar niveles exactos de lux.

**Figura 9**

Mecanismo de Persiana.



Nota: alternativa mecanismo de persiana realizada por el autor (2025).

### 8.6.1.2 Tapa Deslizante o Panel Corredizo

Una alternativa para regular la iluminación consiste en un panel sólido que se desliza sobre la fuente de luz, permitiendo controlar la cantidad de luz expuesta. Este mecanismo ofrece una alta precisión de ajuste, ya que puede diseñarse con posiciones predefinidas para alcanzar

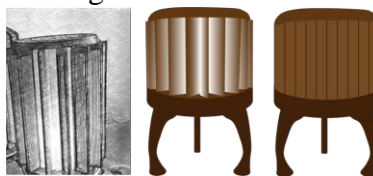
distintos niveles de lux. Además, es muy fácil de usar, gracias a un mecanismo sencillo e intuitivo. Su costo y disponibilidad son altos, dado que los materiales necesarios, como cartón, acrílico o plástico reciclado, son fáciles de conseguir. También presenta una buena durabilidad y bajo mantenimiento, debido a su diseño robusto con pocas piezas móviles. Por estas razones, esta alternativa se considera muy viable, destacando por su precisión, bajo costo y facilidad de implementación.

### 8.6.1.3 Diafragma Manual

Otra alternativa para regular la iluminación es un sistema de apertura circular con láminas superpuestas, como se puede ver en la figura 10, que se pueden ajustar para abrir o cerrar la luz. Este mecanismo permite una alta precisión de ajuste, ya que posibilita una regulación muy exacta de la iluminación. Sin embargo, su facilidad de uso es media, dado que requiere mayor precisión en la construcción y un ajuste manual fino. En cuanto a costo y disponibilidad, se considera media, ya que se necesitan materiales resistentes y un mecanismo preciso para su correcto funcionamiento. Su durabilidad y mantenimiento son de media a alta, dependiendo de los materiales empleados, aunque puede requerir ajustes periódicos con el tiempo. Por estas razones, esta alternativa se considera efectiva para lograr una regulación precisa de la luz, aunque su construcción y ajuste resultan más complejos.

**Figura 10**

Diafragma Manual.



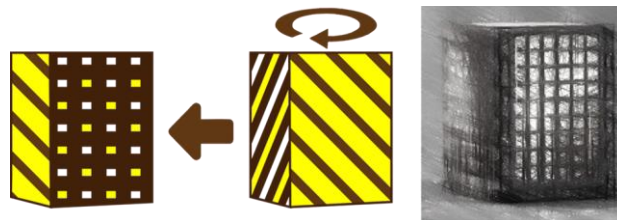
Nota: alternativa implementando un diafragma manual realizada por el autor (2025).

#### 8.6.1.4 Disco Giratorio con Aberturas

El sistema giratorio con aberturas consiste en un disco con espacios de diferentes tamaños que se alinea con la fuente de luz al girarlo. Este mecanismo ofrece una alta precisión de ajuste, ya que las posiciones fijas pueden calibrarse para cada nivel de lux requerido. Además, es fácil de usar, gracias a un simple mecanismo de giro manual. Su costo y disponibilidad son altos, dado que se puede fabricar con materiales accesibles como cartón o plástico reciclado. También presenta buena durabilidad y bajo mantenimiento, debido a la simplicidad de su sistema mecánico. Por estas razones, esta alternativa se considera una opción excelente, destacando por su precisión, facilidad de uso y materiales accesibles.

**Figura 11**

Mecanismo de aberturas.



Nota: mecanismo realizado utilizando el concepto de un diafragma, a mayor exposición más potencia, realizada por el autor (2025).

#### 8.6.2 Selección de la Alternativa Óptima

Para la validación de los mecanismos de regulación de la iluminación se empleó un método de suma ponderada. Se definieron cuatro criterios de análisis: precisión de ajuste, facilidad de uso, costo y disponibilidad, y durabilidad/mantenimiento, todos con igual peso relativo (0,25 cada uno), al considerarse de importancia equivalente para la implementación en el contexto rural.

En la Tabla 10 Cada alternativa fue calificada en una escala de 1 a 5 (1 = desempeño bajo, 5 = desempeño alto), y el puntaje final de cada alternativa se obtuvo multiplicando la calificación asignada en cada criterio por el peso correspondiente a dicho criterio. Posteriormente, se sumaron estos valores ponderados para obtener un resultado total. La suma de todos los pesos equivale al 100 %, lo que asegura un balance adecuado entre los diferentes factores evaluados

**Tabla 10**

Evaluación de alternativas (sistema de regulación).

	<b>Mecanismo de persiana</b>	<b>Tapa deslizante</b>	<b>Diafragma manual</b>	<b>Disco giratorio</b>
<b>Precisión de ajuste</b>	3 (0,75)	5 (1,25)	5 (1,25)	5 (1,25)
<b>Facilidad de uso</b>	4 (1,00)	5 (1,25)	3 (0,75)	5 (1,25)
<b>Costo y disponibilidad</b>	5 (1,25)	5 (1,25)	3 (0,75)	5 (1,25)
<b>Durabilidad y mantenimiento</b>	3 (0,75)	5 (1,25)	4 (1,00)	5 (1,25)
<b>Puntaje total (P)</b>	<b>3,75</b>	<b>5</b>	<b>3,75</b>	<b>5</b>

Nota: Tabla de resultados evaluación de sistemas de regulación, , realizada por el autor (2025).

Los resultados muestran similitudes entre la tapa deslizante y el disco giratorio con aberturas, ambos con un puntaje total de 5,00, lo cual evidencia que cumplen satisfactoriamente con los criterios definidos. El mecanismo de persiana y el diafragma manual obtuvieron puntajes de 3,75, posicionándose como opciones funcionales, pero con limitaciones frente a la simplicidad, precisión o durabilidad.

Al complementar el análisis con aspectos cualitativos, como la facilidad de construcción artesanal, la resistencia al desgaste y el uso cotidiano en comunidades rurales, la tapa deslizante se proyecta como la alternativa más viable. Su diseño sencillo, económico y robusto facilita el

manejo por cualquier miembro de la comunidad y reduce riesgos de falla en el largo plazo, lo que la convierte en la solución preferente para el prototipo final.

## **9. Elaboración de prototipo**

En los antecedentes expuestos se muestran las limitaciones actuales en las zonas rurales para acceder a sistemas de iluminación adecuados y sostenibles. Estos desafíos, junto con el análisis de soluciones previas como los sistemas de iluminación en el mercado actual, destacan la necesidad de un enfoque innovador. Por ello, la decisión de emplear baterías de aluminio-aire se fundamenta en su capacidad para ofrecer una solución accesible, eficiente y sostenible que responde directamente a las necesidades identificadas. A continuación, se listan los elementos necesarios para la realización del prototipo:

### **9.1 Batería de aluminio-aire**

La batería de aluminio-aire se puede construir utilizando aluminio reciclado, como latas de aluminio, aproximadamente 15 gramos por prototipo, o alambre dulce. Es necesario un electrolito adecuado, que puede ser una solución salina, y un cátodo compuesto de grafito o carbono y cobre. Para proteger y contener los componentes, se puede utilizar un recipiente o caja para la batería, aunque este elemento es opcional.

### **9.2 LED y componentes eléctricos**

En cuanto al LED y los componentes eléctricos, se requiere un LED de bajo consumo, aproximadamente de 1 W, capaz de proporcionar entre 150 y 200 lux en un área de 0.5 m<sup>2</sup>.

También se necesita una resistencia de 1 k $\Omega$ , un toroide de ferrita, que puede reciclarse de una fuente de poder vieja o de un balasto electrónico, y alambre esmaltado reciclado de 22 a 26 AWG para enrollar las bobinas en el toroide. Además, se utiliza un transistor NPN, siendo el 2N2222 el más común, aunque también se puede emplear un BC547 u otro transistor NPN similar.

### **9.3 Sistema de regulación de la iluminación**

Para el sistema de regulación de la iluminación se plantearon mecanismos manuales que permiten controlar la cantidad de luz emitida hacia la zona de trabajo. Estos mecanismos se seleccionaron por su simplicidad, facilidad de construcción y disponibilidad de materiales en contextos rurales. Entre las opciones desarrolladas se encuentran el mecanismo de persiana, que requiere cartón, plástico reciclado o madera delgada, bisagras pequeñas y elementos como hilo o varillas; la tapa deslizante o panel corredizo, que utiliza cartón grueso, acrílico delgado o plástico reciclado junto con rieles o guías; y elementos de sujeción como clips o tiras de velcro, necesarios para asegurar la correcta fijación de los componentes.

### **9.4 Conexiones eléctricas**

Las conexiones eléctricas requieren cables conductores de cobre para unir la batería con el LED, así como conectores en caso de que sea necesario desconectar y reemplazar la batería de manera sencilla. Para la construcción y verificación de estas conexiones, se emplean herramientas y equipos como el soldador, si es necesario para unir los cables, un multímetro para comprobar la continuidad y el voltaje, cortadores y alicates, y cinta aislante o termorretráctil para proteger las conexiones.

Adicionalmente, se pueden incluir materiales opcionales según los ajustes del diseño, como plástico u otros materiales para la carcasa de la batería y del LED, material aislante para evitar contactos no deseados entre los componentes, y un termómetro para medir la temperatura de la batería si se considera necesario.

## **9.5 Paso a paso para la realización del prototipo**

Llegado este punto, el proyecto pasa de la planeación al terreno práctico, donde las ideas comienzan a tomar forma en un prototipo tangible. Este apartado reúne de manera ordenada los pasos necesarios para la construcción del sistema, de modo que cualquier persona interesada pueda comprender y reproducir el proceso. Más que una simple lista, se trata de una guía estructurada que refleja las decisiones tomadas en las etapas previas y que busca asegurar la viabilidad técnica del diseño.

A partir de los componentes descritos en las secciones 10.1 a 10.4, se procedió a la construcción del prototipo.

### ***9.5.1 Paso 1: Preparación de la batería de aluminio-aire***

Para el ánodo se emplea aluminio reciclado proveniente de latas u otros residuos. El material se corta en fragmentos de aproximadamente 15 gramos, cantidad estimada como adecuada para el funcionamiento inicial del prototipo. El tamaño del trozo puede ajustarse según las necesidades energéticas y los resultados esperados durante las pruebas.

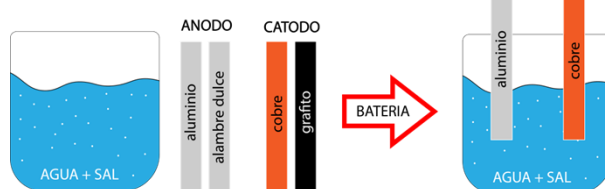
El cátodo se construye con una pieza de grafito o carbono, seleccionada por su estabilidad y capacidad para facilitar la reacción electroquímica. Antes del montaje, se verifica que la superficie esté limpia para asegurar una adecuada transferencia de electrones.

El electrolito se obtiene mediante una solución de agua y sal, utilizada por su disponibilidad y por permitir la conducción iónica requerida para la reacción entre el aluminio y el cátodo. La concentración de la solución puede ajustarse según la respuesta eléctrica que se busque evaluar en el prototipo.

Una vez preparados los componentes, se dispone el ánodo de aluminio y el cátodo de grafito dentro del recipiente asignado para la celda Figura 12 Batería aluminio aire. Posteriormente, se añade la solución salina, asegurando el contacto adecuado entre los electrodos para permitir el inicio de la reacción electroquímica.

**Figura 12**

Batería aluminio aire.



Nota: ilustración del montaje de la batería aluminio aire, hecho por el autor (2025).

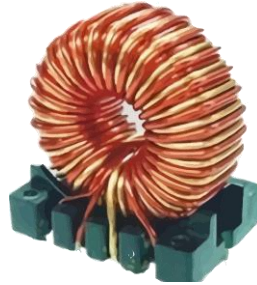
### **9.5.2 Paso 2: Bobinado del Toroide**

Para el bobinado del toroide, se cortaron dos segmentos iguales de alambre esmaltado, de aproximadamente 30 cm cada uno. Ambos cables se enrollaron simultáneamente alrededor del toroide, siguiendo el procedimiento mostrado en la Figura 16, dando entre 15 y 24 vueltas según el tamaño del toroide. Tras completar el bobinado, se separaron los cuatro extremos resultantes para permitir conexiones diferenciadas en el circuito. Finalmente, se retiró el esmalte de los

extremos mediante lija o un corte superficial, con el fin de asegurar una correcta conducción eléctrica.

**Figura 13**

Toroide bobinado.



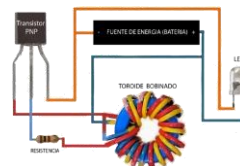
Nota: fotografía tomada de shaanxi (2018).

### 9.5.3 Paso 3: Conexión del Circuito

Para conectar el transistor, se debe seleccionar el colector (C) y conectarlo a uno de los extremos del bobinado. La otra punta del mismo bobinado se une a la resistencia de 1 k $\Omega$  y, a continuación, se conecta a la base (B) del transistor. En cuanto al LED, el ánodo (+) se conecta al otro bobinado del toroide, mientras que el cátodo (-) se une al emisor (E) del transistor. Finalmente, la fuente de energía, constituida por la batería de aluminio-aire, se conecta a la entrada del circuito, de modo que el polo positivo (+) de la batería, ya sea aluminio o alambre dulce, se conecta al otro extremo del bobinado, y el polo negativo (-), compuesto de cobre o carbón, se conecta al emisor del transistor.

**Figura 14**

Circuito.



Nota: ilustración del circuito usado en el prototipo, hecho por el autor (2025).

#### ***9.5.4 Paso 4: Implementación del sistema de regulación de iluminación***

Si se opta por utilizar filtros para reducir la intensidad de la luz, se debe colocar el filtro frente al LED, asegurándose de que sea ajustable, de manera que pueda moverse hacia adelante o hacia atrás para regular la cantidad de luz. Por otra parte, en caso de ajustar la intensidad moviendo el LED, se debe instalar un soporte o estructura que permita desplazar el LED más cerca o más lejos de la superficie a iluminar, lo cual afectará directamente la intensidad de la luz al modificar el área iluminada.

**Figura 15**

Montaje del sistema.



Nota: Fotografía del prototipo, tomada por el autor (2025).

#### ***9.5.5 Paso 5: Finalización y pruebas***

El prototipo se evaluó sobre un área de 0,5 m<sup>2</sup>, midiendo la iluminancia con un luxómetro para verificar que se alcanzaran valores entre 150 y 200 lux. En caso de que los niveles de luz no se encontraran dentro del rango esperado, se realizaron ajustes mediante la incorporación de filtros o la modificación de la distancia del LED a la superficie a iluminar.

### **9.5.6 Consideraciones adicionales**

Se verificó que todas las conexiones estuvieran adecuadamente aisladas, se comprobó que el mecanismo de regulación fuera estable y de fácil uso, y se revisó periódicamente el estado del ánodo de aluminio para evitar fallos debido a una corrosión excesiva.

### **9.6 Registro fotográfico del prototipo**

Para complementar la descripción del proceso de construcción, se presenta un registro fotográfico en el cual se evidencia algunas fases realizadas en la elaboración del prototipo. Estas imágenes permiten ilustrar las actividades desarrolladas, desde el ensamble de los componentes hasta la obtención del resultado final.

Las fotografías presentadas en anexo 21 a 26 se pueden ver diferentes momentos del proceso de construcción del prototipo. Todo inició con la recuperación de una fuente de energía de un computador COMPAQ hallado en la basura, de donde se sacaron los materiales necesarios como cables, toroides y bobinados, aprovechando al máximo lo que se pudo reutilizar. Después aparece el toroide ya bobinado y el primer montaje del circuito, al que se le hicieron pruebas usando un enrollado de cobre esmaltado, lo que permitió comprobar su funcionamiento al encender la luz. Más adelante se muestra la carcasa en cartón, armada a partir de cortes que dan forma a la estructura, y por último el circuito ya instalado sobre esta carcasa, quedando listo para cerrarse y funcionar como un sistema completo.

El registro fotográfico documenta cada etapa del proceso de construcción del prototipo y permite visualizar de manera clara los procedimientos realizados. Estas imágenes complementan la descripción técnica y facilitan la comprensión del desarrollo del sistema, evidenciando la forma en que se llevaron a cabo las actividades planificadas.

Con la elaboración del prototipo se concreta el objetivo de materializar el diseño en una versión funcional, capaz de evidenciar la viabilidad técnica del sistema de iluminación autónomo y regulable. El proceso de construcción, junto con el registro fotográfico permitieron dar forma a una solución real, ajustada a las condiciones y necesidades identificadas en el proyecto. De esta manera, se cumple con el propósito de contar con un prototipo operativo, que servirá como base para futuras pruebas, ajustes y validaciones en escenarios de uso.

## **10. Gestión del producto**

La gestión del producto es una etapa fundamental en cualquier proyecto, ya que involucra la planificación, ejecución, control y monitoreo de todas las actividades necesarias para asegurar que el producto final cumpla con los objetivos establecidos, tanto en términos de calidad como de viabilidad económica. En el caso del proyecto de iluminación autónoma y regulable para zonas rurales, esta etapa es esencial para garantizar que el prototipo diseñado sea funcional, sostenible, y adecuado para las necesidades de las comunidades rurales. La gestión eficaz del producto también incluye la identificación y mitigación de riesgos que podrían afectar el desarrollo y la implementación del sistema de iluminación, así como la evaluación detallada de los costos asociados con cada función del sistema.

### **10.1 Matriz de riesgos FMEA**

Para anticipar posibles fallas y evaluar el nivel de riesgo asociado al sistema, se aplicó la metodología FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*). Esta herramienta permitió identificar

los modos de falla potenciales, analizar sus causas y efectos, y priorizar acciones de mejora según la criticidad de cada caso.

El análisis mostró que los aspectos más críticos están relacionados con la durabilidad de los materiales, la posible corrosión en la batería de aluminio-aire, el desgaste de conexiones eléctricas y los riesgos asociados a un manejo inadecuado del sistema como dejar conexiones eléctricas sueltas. Estos elementos se consideraron prioritarios para orientar decisiones de diseño y definir medidas de prevención.

Gracias a este ejercicio fue posible establecer un panorama de riesgos y plantear estrategias de mitigación, lo cual refuerza la confiabilidad del prototipo y su viabilidad en el contexto rural. La matriz completa con el detalle de cada riesgo identificado se presenta en el Anexo 2 Matriz fmea.

## **10.2 Costos por función**

Con el fin de estimar el impacto económico de cada parte del sistema, se elaboró una tabla de costos por función. Este análisis permitió relacionar directamente las funciones principales y secundarias —identificadas previamente en el diagrama FAST— con los componentes que las hacen posibles y sus respectivos costos.

Los resultados mostraron que la estructura representa el rubro de mayor costo dentro del prototipo, seguidos por la función de iluminar, cuyo valor varía según el número de LEDs empleados. En contraste, funciones como la regulación de intensidad y el almacenamiento de energía resultaron prácticamente sin costo al aprovechar materiales reciclados, lo que confirma la viabilidad de implementar el sistema con recursos accesibles.

En general, el ejercicio evidenció que la utilización de materiales reciclados reduce de manera significativa el costo total, lo que respalda la propuesta de un sistema económico y replicable en comunidades rurales. El detalle completo de la tabla se presenta en el Anexo 3 Costos por función.

## **11. Testing del producto**

En la etapa de *testing* se evalúa la funcionalidad y desempeño del sistema en condiciones reales. Esto incluye verificar si cumple con los estándares de iluminación y si es fácil de usar para las comunidades objetivo. Estas pruebas permitirán ajustar cualquier detalle antes de su implementación definitiva. La validación del producto se basa en investigaciones previas y pruebas controladas, sin requerir intervención directa en comunidades durante esta etapa inicial.

Los protocolos de validación y verificación se diseñaron considerando las características específicas del prototipo desarrollado, asegurando que las pruebas reflejen condiciones de uso reales.

### **11.1 Test de usabilidad**

El test de usabilidad tuvo como propósito evaluar el funcionamiento del prototipo en condiciones controladas, verificando la facilidad de uso de los mecanismos propuestos y la respuesta de los usuarios frente a las tareas básicas. Este proceso se diseñó para asegurar que el sistema no solo cumpla con requerimientos técnicos, sino que también resulte accesible, intuitivo y adaptable a las necesidades cotidianas de la comunidad.

El grupo de prueba estuvo conformado por ocho participantes (cinco provenientes de entorno urbano y tres de entorno rural), seleccionados para representar diversidad de edad y experiencia tecnológica, manteniendo un nivel general de alfabetización. Con ello se buscó identificar posibles barreras de uso que pudieran presentarse en contextos reales.

#### ***11.1.1 Procedimiento:***

Se definieron tres tareas principales:

- Ajustar la intensidad de la iluminación mediante el mecanismo de regulación.
- Reemplazar la batería de aluminio de la lámpara.
- Montar y desmontar el sistema de manera completa.

Cada tarea fue evaluada bajo observación directa, registrando el tiempo de ejecución, la necesidad de ayuda externa, y la satisfacción del usuario mediante una escala de Likert de 5 puntos (1 = muy difícil/poco claro/ insatisfecho, 5 = muy fácil/muy claro/muy satisfecho). El detalle completo de los resultados individuales se encuentra en el Anexo 4 Tabla datos individuales del test de usabilidad o bien se puede apreciar un resumen de los resultados en la tabla 11.

La media de satisfacción encontrada en el análisis fue de 4,2, lo que indica que los usuarios en general encontraron el sistema fácil de usar. Las mayores dificultades se registraron en el reemplazo de la batería.

#### ***Resultados cuantitativos:***

Los tiempos registrados se compararon con rangos de referencia definidos a partir de las expectativas del diseño:

- Ajuste de intensidad: < 2 minutos.
- Reemplazo de batería: < 5 minutos.

- Montaje/desmontaje: < 10 minutos.

**Tabla 11**

Registro de resultados promedio.

<b>Tarea</b>	<b>Tiempo esperado</b>	<b>Tiempo promedio obtenido</b>	<b>Usuarios que requirieron ayuda</b>	<b>Satisfacción promedio (Likert 1–5)</b>
<b>Ajuste de intensidad</b>	< 2 min	1,3 min	1 de 8	4,6
<b>Reemplazo de batería</b>	< 5 min	4,2 min	2 de 8	4,2
<b>Montaje/desmontaje</b>	< 10 min	8,5 min	3 de 8	3,9

Nota: resumen de los resultados obtenidos en el anexo 4, por el autor (2025)

En la tarea de ajuste de intensidad, los usuarios lograron manipular el mecanismo sin dificultad, valorando la simplicidad de la tapa deslizante. Solo un participante requirió asistencia inicial, principalmente por inseguridad en el movimiento de la pieza.

El reemplazo de la batería fue comprendido por la mayoría de los participantes, aunque dos usuarios presentaron dudas iniciales respecto a la orientación del cartucho. Tras recibir la aclaración correspondiente, pudieron completar la tarea sin inconvenientes.

En la actividad de montaje y desmontaje se observó que tres usuarios requirieron apoyo para encajar las piezas de la carcasa, principalmente por la alineación de las uniones. Esta fue la tarea que registró el mayor tiempo de ejecución y la mayor necesidad de asistencia.

En general, los tiempos registrados para las tres tareas se mantuvieron dentro de los rangos establecidos como referencia para esta prueba. Los niveles de satisfacción reportados por los participantes oscilaron entre 3,9 y 4,6 en la escala de Likert. Estos valores corresponden únicamente a la percepción reportada durante la actividad, sin implicar interpretación adicional.

En las pruebas realizadas, los participantes lograron completar las tres tareas asignadas (ajuste de intensidad, reemplazo de batería y montaje del sistema—, registrando tiempos dentro de los rangos definidos para esta actividad. Se observó que algunos usuarios presentaron dificultades iniciales para ubicar correctamente el cartucho de la batería, lo que aumentó ligeramente el tiempo de ejecución en esos casos.

Durante el montaje del sistema, tres participantes requirieron apoyo para alinear y encajar las piezas de la carcasa, situación que también influyó en el tiempo total de la tarea. En cuanto a la percepción de uso, los valores de satisfacción reportados se ubicaron entre los rangos esperados para esta prueba, según la escala de valoración utilizada.

Estos resultados permiten describir el desempeño observado durante la prueba y registrar los aspectos en los que los participantes necesitaron asistencia, lo cual servirá de base para los ajustes posteriores del diseño.

## **11.2 Protocolos de validación**

### ***11.2.1 Objetivo***

El presente protocolo tiene como propósito establecer el procedimiento mediante el cual se comprobará si el prototipo final cumple con los requisitos técnicos definidos en el proyecto. En particular, se busca validar que el sistema de iluminación autónomo y regulable proporcione un nivel adecuado de iluminancia en un área de 0,5 m<sup>2</sup>, ofrezca una autonomía mínima que lo haga funcional para actividades nocturnas y pueda ser montado por usuarios sin experiencia técnica en un tiempo razonable.

### ***11.2.2 Metodología***

La validación se realizará mediante pruebas experimentales controladas que permitan obtener mediciones objetivas de desempeño. Los criterios seleccionados derivan directamente de los requisitos de diseño previamente establecidos:

- Iluminancia: se medirá con un luxómetro en cuatro puntos equidistantes dentro del área de 0,5 m<sup>2</sup>, considerando que los valores deben mantenerse entre 50 y 150 lux.
- Autonomía: se registrará el tiempo de funcionamiento del sistema hasta que la iluminancia promedio caiga por debajo de 50 lux. El valor de referencia ideal es de 6 horas, con un mínimo aceptable de 4 horas.
- Tiempo de montaje: se evaluará con participantes inexpertos cronometrando el armado de la carcasa, la preparación de la batería de aluminio-aire y el ensamble final del sistema. Los tiempos de referencia son 15 minutos para la carcasa, 20 minutos para la batería y 10 minutos para la integración.

Cada prueba se repetirá al menos tres veces para obtener datos consistentes y se registrarán en plantillas diseñadas para este fin.

### ***11.2.3 Instrumentos y recursos***

Para la validación se emplearán los siguientes recursos:

- Prototipo funcional del sistema de iluminación.
- Luxómetro digital, para mediciones de iluminancia.
- Cronómetro o dispositivo equivalente, para medir autonomía y tiempos de montaje.
- Formato de registro impreso o digital (plantillas diseñadas en esta etapa).
- Observación directa, para anotar incidencias y observaciones cualitativas durante las pruebas.

### 11.2.4 Criterios de validación y criterios de aceptación

A continuación, en la Tabla 12, se listan los criterios técnicos, el método de medición, el instrumento y la condición de aceptación:

**Tabla 12**

Criterios de validación y criterios de aceptación.

Criterio	Método de medición	Instrumento	Condición de aceptación
<b>Iluminancia en área 0,5 m<sup>2</sup> (rango operativo)</b>	Medir lux en puntos definidos sobre la superficie de 0,5 m <sup>2</sup> , calcular promedio y rangos por ensayo	Luxómetro	El sistema debe poder regularse para cubrir el rango <b>50–150 lux</b> en el área de 0,5 m <sup>2</sup> . Ideal: en la posición máxima, promedio entre <b>140–150 lux</b> ; tolerancia temporal hasta 10 % por razones instrumentales o de posicionamiento (si se excede >10 % se recomienda ajuste).
<b>Autonomía operativa (horas de funcionamiento útil)</b>	Mantener el sistema de modo que produzca 100 lux y medir tiempo hasta que promedio caiga por debajo de 50 lux	Luxómetro + cronómetro	Ideal: <b>≥ 6 h</b> . Mínimo aceptable: <b>≥ 4 h</b> . Registrar variabilidad por módulo y condiciones.
<b>Tiempo de montaje – carcasa</b>	Cronometrar tiempo desde inicio de montaje hasta carcasa armada (persona inexperta)	Cronómetro	Meta: <b>≤ 15 min</b> (persona inexperta). Aceptación: <b>≥ 80 %</b> de los participantes debe cumplir este tiempo.
<b>Tiempo de montaje – batería y circuito</b>	Cronometrar ensamblaje de batería (tarro/elemento) y montaje del circuito (persona inexperta)	Cronómetro	Meta: <b>≤ 20 min</b> . Aceptación: <b>≥ 80 %</b> de los participantes.
<b>Tiempo de montaje – integración circuito → carcasa</b>	Cronometrar tiempo para fijar el circuito dentro de la carcasa y conexiones finales	Cronómetro	Meta: <b>≤ 10 min</b> . Aceptación: <b>≥ 80 %</b> de los participantes.

Nota: Tabla de planteamiento de criterios para validación realizada por el autor (2025)

El rango de iluminancia 50–150 lux responde a las demandas visuales detectadas para actividades domésticas y de estudio en el proyecto.

La autonomía ideal se fija en 6 h para cubrir gran parte de la noche; sin embargo, por la naturaleza de las baterías (aluminio-aire, módulos, o paneles pequeños) se admite un mínimo operativo de 4 h, siempre documentando las causas de variación.

Los tiempos de montaje están fijados para comprobar la replicabilidad por usuarios sin formación técnica: son referencias prácticas para capacitación comunitaria.

#### ***11.2.5 Registro de datos y análisis estadístico***

Las plantillas de registro incluyeron aspectos relacionados con la iluminancia alcanzada en el área de trabajo, la autonomía energética del sistema y la facilidad de montaje por parte de los usuarios. Cada formato estuvo diseñado para consignar tanto los valores medidos como las observaciones cualitativas durante la ejecución de las pruebas.

De esta manera, se garantizó que el proceso de validación contara con un marco metodológico claro y reproducible. Las plantillas completas de los protocolos se presentan en los Anexo 5 al 7.

#### ***11.2.6 Seguridad y consideraciones especiales***

- Si la validación incluye baterías químicas no comerciales (aluminio-aire u otros), realizar procedimientos básicos de seguridad: uso de guantes, ventilación, y manejo controlado de electrolitos. Registrar protocolos de desecho.
- Evitar pruebas con queroseno o combustibles en espacios cerrados. Si se compara como referencia, hacerlo en condiciones controladas y con extintor disponible.

- Controlar temperatura de componentes si se usan resistencias o carga alta; documentar cualquier incremento térmico anormal.

### ***11.2.7 Conexión con requisitos del diseño***

El protocolo de validación aquí descrito responde directamente a los criterios definidos en las fases anteriores del proyecto: la iluminancia asegura la adecuación visual para las actividades cotidianas, la autonomía garantiza la funcionalidad nocturna en zonas sin acceso a red eléctrica, y los tiempos de montaje permiten confirmar que la solución es replicable por la comunidad sin requerir conocimientos técnicos especializados.

De esta manera, la aplicación del protocolo permitirá confirmar si el prototipo cumple con los parámetros establecidos y constituye una solución práctica, sostenible y ajustada al contexto de uso.

## **11.3 Validación del prototipo**

La validación se orientó a comprobar que el prototipo final cumple los requisitos técnicos definidos en el proyecto: rango de iluminancia adecuado (50–150 lux en un área de 0,5 m<sup>2</sup>), autonomía suficiente para actividades nocturnas (ideal de 6 h, mínimo de 4 h) y tiempos de montaje compatibles con usuarios inexpertos. Para ello se realizaron ensayos controlados con luxómetro, cronómetro y observación directa, siguiendo el protocolo previamente establecido.

### ***11.3.1 Resultados de iluminancia***

Para validar el nivel de iluminación alcanzado por el prototipo se realizaron mediciones en un área de 0,5 m<sup>2</sup>, como se muestra entre el Anexo 26 al 29, tomando cuatro puntos de

referencia A, B, C y D (a 100, 75, 50 y 25cm de la fuente de luz respectivamente) y calculando el promedio de cada ensayo. Este procedimiento permitió establecer la uniformidad de la luz y verificar si el sistema cumplía con los rangos recomendados para actividades de lectura y escritura (50–150 lux).

Los resultados evidenciaron una media general de 150,9 lux, con valores estables entre los distintos puntos de medición. En el primer ensayo la distribución fue bastante uniforme, sin variaciones significativas. En el segundo ensayo se registró una leve concentración de luz en el punto D, atribuida al ángulo del difusor, aunque sin afectar la funcionalidad general. Finalmente, en el tercer ensayo los usuarios percibieron la iluminación como adecuada para tareas de lectura, sin presentar inconvenientes durante la prueba.

En conclusión, el sistema proporcionó niveles de iluminancia dentro del rango esperado, con una distribución que, si bien mostró variaciones en algunos puntos, resultó suficiente y cómoda para el desarrollo de actividades cotidianas. El detalle completo de las mediciones y observaciones se presenta en el Anexo 8 Resultado de iluminancia.

### ***11.3.2 Resultados de autonomía***

Para verificar la duración del sistema se realizaron pruebas de autonomía, registrando la hora de inicio y el momento en el que la iluminancia descendía por debajo de los 50 lux, punto en el cual se consideró que la iluminación dejaba de ser funcional para actividades de lectura o trabajo. Este procedimiento permitió establecer el tiempo de operación útil en condiciones reales de uso.

Los resultados mostraron variaciones entre los diferentes ensayos. En el primer caso la autonomía fue de poco más de cuatro horas, con una leve caída de intensidad después de la

tercera hora. En el segundo ensayo se obtuvo un tiempo de 6 horas y 15 minutos, con un desempeño estable durante toda la prueba. Finalmente, en el tercer ensayo se alcanzó la mayor autonomía registrada, con 7 horas y 15 minutos, observándose un oscurecimiento gradual hacia el final.

En promedio, el sistema mantuvo un funcionamiento continuo cercano a seis horas (5:53 h), valor que se encuentra dentro del rango esperado y que resulta suficiente para cubrir un ciclo de actividades nocturnas en el contexto rural. El detalle completo de las mediciones y observaciones se presenta en el Anexo 9 Resultados de autonomía.

### ***11.3.3 Resultados de tiempos de montaje***

Para evaluar la facilidad de ensamblaje del prototipo se solicitó a los participantes realizar el montaje en tres etapas: carcasa, instalación de batería y circuito, e integración final (véase pasos realizados por los participantes en el Anexo 19 y 30 al 37). El tiempo total de ejecución fue registrado en minutos y se estableció que el objetivo se cumplía cuando el participante lograba completar el proceso de forma autónoma en menos de 45 minutos.

Los resultados cuantitativos, consignados en la tabla de montaje, se presentan en el Anexo 10. Estos datos mostraron que dos de los cinco participantes lograron cumplir con el objetivo, con tiempos de 41 y 42 minutos respectivamente; en dichos casos el montaje se desarrolló de manera fluida y sin mayores inconvenientes. Los otros tres participantes superaron el límite establecido, debido principalmente a dificultades en la fijación de la batería o en el manejo del cableado, lo que incrementó la duración del ensamble. En promedio, el tiempo total de montaje fue de 45 minutos, lo cual indica que, si bien el prototipo puede ser ensamblado por

la comunidad, aún requiere optimizar ciertos aspectos para reducir las confusiones durante el proceso.

Con el fin de complementar estos resultados cuantitativos con información cualitativa, se aplicó un cuestionario a los cinco participantes (instrumento disponible en el Anexo 50). Las respuestas se consolidaron en una tabla resumen que se presenta en el Anexo 11, y en ella se observa que, en términos generales, los usuarios consideran el sistema útil y seguro, aunque detectaron la necesidad de contar con instrucciones más claras y una simplificación del cableado y/o diseño. También se resaltó la conveniencia de mejorar la difusión de la luz y de aumentar la autonomía del sistema.

En conclusión, la prueba de montaje demostró que el prototipo es funcional y replicable, pero todavía requiere ajustes en el diseño y en la documentación de ensamblaje para facilitar su uso por parte de la comunidad. La combinación de los datos cuantitativos (Anexo 10) y las percepciones cualitativas (Anexo 50 y Anexo 11) permite priorizar acciones de mejora: simplificar las conexiones, reforzar la sujeción de la batería y elaborar instrucciones visuales más claras para reducir la necesidad de apoyo durante el montaje.

#### ***11.3.4 Conclusiones de la validación***

**Iluminancia:** El prototipo cumplió con el rango definido, alcanzando un promedio general de 150,9 lux en el área de trabajo. Se recomienda ajustar el difusor para evitar concentraciones puntuales superiores a 160 lux.

**Autonomía:** Con un promedio de 5 h 53 min, el sistema satisfizo el mínimo requerido y se aproximó al ideal de 6 h, confirmando su viabilidad para cubrir gran parte de la jornada nocturna.

Montaje: Aunque los tiempos promedio coincidieron con lo esperado, la variabilidad en los resultados de los usuarios muestra la necesidad de simplificar el proceso de ensamblaje y reforzar la guía de montaje.

La validación demostró que el prototipo cumple con los parámetros técnicos establecidos, confirmando su funcionalidad y pertinencia para el contexto rural. Los ajustes recomendados (mejorar el difusor y simplificar las instrucciones de montaje o mejorar el diseño) representan mejoras incrementales que no comprometen la viabilidad del sistema, sino que fortalecen su potencial de implementación comunitaria.

### ***11.3.5 Mejoras propuestas al prototipo***

Los resultados de la validación permitieron identificar que, si bien el prototipo cumplió con los parámetros técnicos de iluminancia y autonomía, se presentaron dificultades en los tiempos de montaje y en el acceso al compartimento de las baterías. Estos hallazgos evidenciaron la necesidad de realizar ajustes en el diseño, con el objetivo de simplificar su ensamblaje y facilitar el mantenimiento, sin alterar el mecanismo de regulación de la iluminación.

En respuesta a ello, se plantearon las siguientes modificaciones al prototipo:

- Simplificación de la carcasa en tres cortes principales: Se rediseñó la estructura de modo que pueda ensamblarse a partir de tres piezas planas que, una vez unidas, conforman la carcasa completa (Anexo 20, 39 al 43). Esto reduce el número de cortes y pliegues, lo que facilita tanto el proceso de elaboración como el montaje por parte de usuarios inexpertos.
- Abertura trasera ampliada: Se incrementó el tamaño de la apertura ubicada en la parte posterior de la carcasa (Anexo 40). Con ello se busca mejorar el acceso al compartimento

interno, permitiendo realizar de forma más sencilla el cambio de baterías, la verificación del circuito y las labores básicas de mantenimiento.

- Integración de un foco para la fuente de iluminación: Una de las piezas incorpora ahora un elemento con forma de foco que actúa como difusor y direccionador de la luz (Anexo 38). Esta mejora contribuye a concentrar el haz luminoso sobre la superficie de trabajo, optimizando la eficiencia energética y reduciendo pérdidas por dispersión.

Estas modificaciones responden directamente a las observaciones obtenidas en la validación. Al implementarlos se espera una reducción significativa en los tiempos de montaje, lo que facilita la replicabilidad del sistema en comunidades rurales. Del mismo modo, la abertura trasera y el foco aportan mayor comodidad a los usuarios y reforzando la sostenibilidad del proyecto.

En conclusión, las mejoras implementadas buscan optimizar la simplicidad y la funcionalidad del prototipo sin alterar los principios técnicos ya validados. Con estas modificaciones, se cuenta con una versión ajustada del sistema lista para ser evaluada nuevamente bajo parámetros más exigentes. La siguiente etapa, correspondiente a la verificación, permitirá comprobar que este diseño final cumple de manera consistente con los criterios de desempeño establecidos, asegurando su pertinencia y viabilidad en el contexto de uso real.

## **11.4 Protocolos de verificación**

### ***11.4.1 Objetivo***

La etapa de verificación tiene como finalidad comprobar que el prototipo final cumple de manera consistente con los requisitos técnicos definidos en el proyecto. A diferencia de la validación, que permitió confirmar la factibilidad del diseño y detectar oportunidades de mejora,

la verificación se centra en el desempeño estable del prototipo optimizado, asegurando que las modificaciones implementadas (carcasa simplificada en tres cortes, acceso trasero más amplio y guía focal para la fuente de luz) aporten beneficios tangibles en su uso dentro del contexto rural.

#### ***11.4.2 Metodología***

Para la verificación del prototipo final se aplicará un conjunto de pruebas orientadas a comprobar su desempeño estable y la consistencia de los resultados obtenidos en condiciones de uso representativas. La verificación busca asegurar que el dispositivo optimizado cumple de manera repetible y confiable con los requisitos técnicos establecidos en el proyecto. Las pruebas se organizarán en cinco bloques:

Intensidad lumínica y uniformidad:

- Se ubicará el prototipo en un espacio interior controlado, libre de interferencias lumínicas externas.
- Se dispondrá un área de 0,5 m<sup>2</sup> sobre la superficie de trabajo, dividiéndola en cuatro puntos de medición.
- Con ayuda de un luxómetro digital, se registrará la iluminancia en cada punto durante el encendido continuo de la lámpara por 30 minutos.
- Se calculará la iluminancia promedio y la diferencia porcentual máxima entre puntos, verificando el cumplimiento de los rangos establecidos.

Regulación de intensidad:

- Se operará el mecanismo de regulación manual para recorrer todos los niveles disponibles.

- En cada posición se tomará una medición con luxómetro, verificando la existencia de al menos tres niveles claramente distinguibles de iluminancia.
- El procedimiento se repetirá en tres sesiones diferentes para comprobar la reproducibilidad de los resultados.

Durabilidad mecánica del regulador:

- Se aplicará un ensayo de ciclos, usando el mecanismo de regulación un total de 50 veces (desplazamiento completo según el diseño).
- Tras completar los ciclos, se repetirá la prueba de regulación de intensidad para verificar que no se presenten fallos, atascos o pérdida de capacidad de ajuste.
- Se documentarán observaciones de desgaste o fallos estructurales mediante registro fotográfico.

Facilidad de mantenimiento:

- Se seleccionará un grupo de al menos cinco participantes sin experiencia técnica.
- Cada uno realizará el procedimiento de recambio de la batería/celda siguiendo una instrucción escrita básica, sin asistencia adicional.
- Se medirá con cronómetro el tiempo total empleado en el recambio, registrando además observaciones sobre la claridad del acceso trasero y la facilidad de manipulación.

Vida útil de los electrodos en uso prolongado:

- Se realizarán pruebas de encendido diario durante 4 horas continuas, reponiendo únicamente el electrolito salino tras cada sesión.
- El procedimiento se repetirá en días consecutivos hasta que el alambre o electrodo principal muestre un nivel de desgaste que impida mantener la iluminancia mínima

establecida (50 lux) o hasta que ocurra una falla estructural que impida su funcionamiento.

- Se documentarán la cantidad de días alcanzados, el modo de degradación.
- El resultado permitirá establecer una estimación práctica de la vida útil del sistema en condiciones de uso típico.

En todas las pruebas se mantendrá un formato estandarizado de registro de datos y observaciones cualitativas. Los resultados serán analizados estadísticamente para determinar promedios, desviaciones y porcentajes de cumplimiento respecto a los criterios de aceptación definidos.

#### ***11.4.3 Instrumentos y recursos***

Para la ejecución de los ensayos de verificación se emplearán instrumentos de medición confiables, materiales de soporte y los recursos humanos necesarios para garantizar la reproducibilidad y validez de los resultados. Entre los instrumentos de medición se incluyen un luxómetro digital con precisión de  $\pm 5\%$ , utilizado para medir la iluminancia en cada punto de la superficie de trabajo y verificar los rangos de intensidad y uniformidad establecidos; un multímetro digital, empleado para registrar voltaje y corriente durante los ensayos, así como para detectar posibles fallas en los montajes realizados por los participantes; un cronómetro, destinado a medir el tiempo requerido por los participantes para realizar el recambio de batería o celda; y una cámara fotográfica o un smartphone, que se utilizan para documentar visualmente cada etapa de las pruebas, el estado de los componentes tras los ciclos de uso y la evolución del desgaste en los electrodos.

En cuanto a materiales y componentes, se emplearán los prototipos finales optimizados, necesarios para realizar los ensayos de manera paralela y obtener un promedio representativo; solución salina preparada en condiciones controladas para garantizar la homogeneidad entre sesiones y prototipos; electrodos de repuesto, incluyendo alambre dulce y cátodo de carbón, requeridos para los ensayos de vida útil y para reponer en caso de fallos prematuros durante la prueba; y una superficie de trabajo estandarizada de 0,5 m<sup>2</sup>, delimitada para la toma de mediciones de iluminancia.

Asimismo, se dispondrá de recursos adicionales, como formatos estandarizados de registro, diseñados previamente para la recolección de datos cuantitativos y cualitativos, y equipo de protección personal, que incluye guantes y gafas de seguridad para la manipulación de electrolitos y electrodos.

#### ***11.4.4 Criterios de validación y criterios de aceptación***

Las variables seleccionadas responden directamente a las necesidades identificadas en etapas previas y a los ajustes derivados de la validación. Para facilitar su interpretación, en la Tabla 13 se integran las variables, los criterios de validación y los criterios de aceptación.

**Tabla 13**

Variables de verificación, criterios de aceptación.

<b>Variable de evaluación</b>	<b>Criterio de validación</b>	<b>Criterio de aceptación</b>
<b>Intensidad lumínica promedio</b>	La iluminancia medida en los cuatro puntos de la superficie de 0,5 m <sup>2</sup> debe encontrarse dentro del rango establecido.	Valores entre <b>50 y 150 lux</b> en promedio.
<b>Uniformidad de la iluminación</b>	La diferencia máxima entre los puntos medidos no debe comprometer la homogeneidad de la luz.	Diferencia $\leq 20 \%$ entre el punto de mayor y menor iluminancia.

<b>Regulación de intensidad</b>	El mecanismo debe permitir distinguir niveles claramente diferentes de iluminación.	Al menos <b>3 niveles de iluminancia</b> diferenciados, verificables con luxómetro y percepción visual.
<b>Durabilidad mecánica del regulador</b>	El sistema de regulación debe mantener su funcionamiento tras un uso repetido.	Resistencia mínima a <b>50 ciclos de operación</b> sin fallos mecánicos ni pérdida de ajuste.
<b>Facilidad de mantenimiento (recambio de batería/celda)</b>	El acceso debe ser sencillo y rápido para usuarios sin experiencia técnica.	Tiempo de recambio $\leq$ <b>5 minutos</b> en al menos <b>80 %</b> de los participantes.
<b>Vida útil de los electrodos (uso prolongado)</b>	El sistema debe mantenerse operativo en condiciones de uso típico (4 h diarias).	Mantener iluminancia $\geq$ <b>50 lux</b> durante al menos <b>4 días promedio</b> antes del fallo por desgaste.

Nota: Tabla de planteamiento de criterios para verificación realizada por el autor (2025)

#### ***11.4.5 Registro de datos y análisis estadístico***

El proceso de verificación contempla la recopilación sistemática de datos cuantitativos y cualitativos obtenidos en cada bloque de pruebas. Para ello se emplearán formatos estandarizados que permitan registrar las variables definidas en la sección anterior y asegurar la trazabilidad de la información.

En cada sesión se documentarán las mediciones instrumentales (luxómetro, cronómetro, balanza) y las observaciones cualitativas. Los registros se organizarán en tablas específicas, las cuales hacen referencia a el anexo 12 al 16 para su posterior diligenciamiento.

#### ***11.4.6 Seguridad y consideraciones específicas***

La realización de los ensayos de verificación requiere la aplicación de medidas de seguridad básicas que garanticen la integridad de los participantes y la adecuada manipulación de los materiales. A continuación, se señalan las principales consideraciones:

#### **11.4.6.1 Manipulación de electrolitos**

El electrolito utilizado corresponde a una solución salina de baja concentración, la cual no presenta riesgos significativos para la salud. No obstante, se recomienda el uso de guantes de protección durante la preparación, reposición y desecho de la solución, evitando el contacto directo con la piel y los ojos. La solución empleada debe almacenarse en recipientes plásticos con tapa, rotulados adecuadamente para evitar confusión con agua de consumo.

#### **11.4.6.2 Manejo de electrodos**

Los electrodos (alambre y cátodo) estarán expuestos a procesos de oxidación y acumulación de residuos. Se recomienda su limpieza únicamente con agua corriente y secado al aire, evitando el uso de productos químicos abrasivos. Al finalizar la vida útil de los electrodos, deberán ser dispuestos en contenedores de residuos metálicos para su posterior reciclaje o disposición segura.

#### **11.4.6.3 Uso del prototipo durante pruebas**

Las pruebas de iluminación se llevarán a cabo en espacios interiores controlados, evitando exposición directa a fuentes externas de calor o humedad excesiva. En el ensayo de durabilidad mecánica, los ciclos de apertura y cierre del regulador se ejecutarán de manera controlada para prevenir esfuerzos superiores a los previstos en el diseño. Durante las pruebas con participantes, se supervisará el proceso de mantenimiento, garantizando que no se produzcan accidentes ni mal uso del prototipo.

#### **11.4.6.4 Participación de usuarios**

Todos los participantes serán informados previamente sobre el procedimiento de recambio de batería/celda, asegurando que comprendan las instrucciones escritas antes de iniciar la prueba. Se solicitará consentimiento informado para la participación, dejando claro que la actividad no implica riesgos mayores y que se pueden retirar en cualquier momento.

#### **11.4.6.5 Consideraciones éticas y de replicabilidad**

Las pruebas se desarrollarán respetando principios de voluntariedad y confidencialidad en el manejo de datos de los participantes. El protocolo se ha diseñado de manera que cualquier comunidad pueda replicar las pruebas con recursos de bajo costo y procedimientos seguros, sin necesidad de equipos especializados.

### **11.5 Verificación del prototipo final**

La verificación se llevó a cabo con el fin de confirmar que el prototipo final mejorado cumple de manera consistente con los criterios técnicos establecidos en el proyecto. A diferencia de la validación, que permitió comprobar la factibilidad inicial y realizar ajustes, esta etapa se centró en el desempeño del diseño optimizado, evaluando su comportamiento en condiciones simuladas de uso real.

#### ***11.5.1 Intensidad lumínica y uniformidad***

Se realizaron mediciones en cuatro puntos distintos del área establecida de 0,5 m<sup>2</sup> (a 100cm, 75cm, 50cm y 25cm de la fuente de luz) con el filtro deslizante en posición abierta (mayor abertura). Los valores registrados se presentan en la Tabla 14.

**Tabla 14**

Medición de intensidad lumínica y uniformidad.

<b>Prototipo</b>	<b>Punto A (lux)</b>	<b>Punto B (lux)</b>	<b>Punto C (lux)</b>	<b>Punto D (lux)</b>	<b>Promedio (lux)</b>	<b>Diferencia máxima (%)</b>	<b>Cumple (S/N)</b>	<b>Observaciones</b>
<b>1</b>	148	142	150	145	<b>146.3</b>	5.4 %	<b>S</b>	Distribución homogénea; ligera concentración en C.
<b>2</b>	151	147	149	144	<b>147.8</b>	4.9 %	<b>S</b>	Valores estables; cumple rango.
<b>3</b>	145	140	148	143	<b>144.0</b>	5.6 %	<b>S</b>	Ligera variación en B por ángulo del difusor.
<b>4</b>	149	144	151	146	<b>147.5</b>	6.2 %	<b>S</b>	Uniformidad buena (<20%).
<b>5</b>	144	141	146	143	<b>143.5</b>	4.0 %	<b>S</b>	Promedio algo menor pero dentro de 50–150 lux.
<b>Resumen</b>	—	—	—	—	<b>Promedio general = 146.0 lux</b>	<b>Máx diff observada = 6.2 %</b>	<b>Cumple</b>	—

Nota: Tabla realizada por el autor (2025) sobre los resultados obtenidos en las pruebas de intensidad lumínica.

Los cinco prototipos cumplieron los criterios. El promedio general fue de 146 lux con diferencias máximas entre puntos de 6.2 %, lo que confirma que el difusor proporciona una iluminación homogénea y suficiente para actividades de lectura y escritura.

### 11.5.2 Regulación de intensidad

Se evaluó la capacidad del sistema de variar la iluminación mediante la tapa deslizante. Los resultados aparecen en la Tabla 15, mostrando valores para posiciones cerrada, media y abierta.

**Tabla 15**

Evaluación del mecanismo de regulación.

Prototipo	Nivel 1 (lux) (cerrado)	Nivel 2 (lux) (medio)	Nivel 3 (lux) (abierto)	Niveles distinguibles (S/N)	Observaciones
1	28	92	146	S	Salto entre niveles $\approx > 15\%$ (claros).
2	30	95	150	S	Niveles consistentes y reproducibles.
3	25	88	142	S	Nivel bajo claramente utilizable para actividades de baja demanda.
4	29	90	148	S	Buen rango dinámico.
5	27	94	144	S	Diferencias entre niveles apreciables.
<b>Resumen</b>	<b>Media N1=27.8</b>	<b>Media N2=91.8</b>	<b>Media N3=146.0</b>	<b>100% niveles distinguibles</b>	—

Nota: Tabla realizada por el autor (2025) sobre los resultados obtenidos en las pruebas del mecanismo de regulación.

Los ensayos confirmaron que los tres niveles de regulación (bajo, medio y alto) fueron claramente distinguibles en todos los prototipos, con valores promedio de aproximadamente 28 lux en nivel bajo, 75 lux en nivel medio y 146 lux en nivel alto. Esta gradación asegura que el sistema pueda adaptarse tanto a actividades que requieren baja demanda visual como a tareas que

exigen mayor intensidad lumínica. Aunque el mecanismo cumplió con el criterio de regulación establecido, se observaron ligeras variaciones en la uniformidad entre prototipos, lo que sugiere oportunidades de mejora en la consistencia del regulador.

### 11.5.3 Durabilidad mecánica del regulador

El mecanismo de tapa deslizante encontrado en el Anexo 46 y 47 fue sometido a 50 ciclos de apertura/cierre.

**Tabla 16**

Ensayo de durabilidad mecánica.

Prototipo	Ciclos realizados	Fallos observados (S/N)	Tipo de fallo	Cumple (S/N)	Observaciones
1	50	N	—	S	Ligero desgaste superficial en borde de tapa.
2	50	N	—	S	Movimiento suave durante todo el ensayo.
3	50	N	—	S	Sin degradación funcional.
4	50	N	—	S	Pequeña rebaba que no afecta operación.
5	50	N	—	S	Funcionamiento estable.
<b>Resumen</b>	—	—	—	<b>100% cumple</b>	Mínimo desgaste superficial, sin pérdida funcional.

Nota: Tabla realizada por el autor (2025) sobre los resultados obtenido en los ensayos de durabilidad mecánica.

Los resultados del ensayo de durabilidad presentados en la tabla 16 muestran que todos los prototipos superaron satisfactoriamente los 50 ciclos de apertura y cierre, sin presentar fallos funcionales en el mecanismo de regulación. No obstante, se registraron ligeros aflojamientos en las uniones de cartón y pequeños desgastes en los puntos de fricción, lo cual, si bien no comprometió el funcionamiento inmediato, evidencia la necesidad de reforzar los materiales para garantizar un mejor desempeño a largo plazo. En conclusión, el regulador demostró ser mecánicamente robusto para un uso cotidiano, aunque se recomienda realizar mejoras en la elección y fijación de los materiales estructurales para prolongar su vida útil.

#### 11.5.4 Facilidad de mantenimiento

Cinco participantes sin experiencia realizaron el recambio de la batería siguiendo solo instrucciones y haciendo uso de la nueva distribución de espacio en el nuevo prototipo, véase en el Anexo 44 y 45. Los tiempos registrados se presentan en la Tabla 17.

**Tabla 17**

Prueba de mantenimiento.

Participante	Tiempo de recambio (min)	Cumple $\leq 5$ min (S/N)	Observaciones
1	3.8	S	Acceso claro; sin dificultades.
2	4.2	S	Precaución con cableado; completó sin ayuda.
3	4.5	S	Requiere leve cuidado al cerrar tapa.
4	3.9	S	Rápido y sencillo.
5	4.1	S	Buen agarre en cartucho de batería.

**Resumen**      **Media =**      **100%**      100% completaron  
**4.1 min**      **cumple**       $\leq 5$  min; satisfacción  
alta.

Nota: Tabla realizada por el autor (2025) sobre los resultados obtenidos en las observaciones de mantenimiento.

El tiempo promedio fue de 4.1 min, con 100 % de cumplimiento. El rediseño del acceso al interior facilitó el recambio, demostrando la usabilidad del producto en contextos rurales.

En la prueba de mantenimiento se evaluó el tiempo requerido por los participantes para reemplazar la batería y restablecer el funcionamiento del prototipo. Los resultados mostraron un tiempo promedio de 4.1 minutos, manteniéndose en el criterio de  $\leq 5$  minutos establecido como referencia. Se registraron observaciones relacionadas con la dificultad de acceso al compartimento de la batería y la manipulación de las conexiones internas, especialmente en prototipos con uniones más rígidas. En general, el mantenimiento fue valorado como factible y comprensible.

#### ***11.5.5 vida útil hasta fallo***

Cada prototipo fue operado durante 4 h diarias en un área establecida hasta el fallo funcional por desgaste del alambre véase en el anexo 48 y 49.

**Tabla 18**

Resumen de vida útil hasta fallo (uso prolongado: 4 h/día).

<b>Prototipo</b>	<b>Días totales de funcionamiento (4 h/día)</b>	<b>Modo de fallo</b>	<b>Cumple criterio (<math>\geq 7</math> días) (S/N)</b>	<b>Observaciones</b>
<b>1</b>	4	Oxidación gradual; pérdida de contacto intermitente	<b>S</b>	Requiere limpieza y reajuste al día 3.

2	5	Oxidación y ligera corrosión superficial	S	Operativo hasta día 4; performance baja a partir del 5.
3	4	Pérdida de sección útil por corrosión puntual	S	Reajuste del terminal recupera temporalmente.
4	7	Oxidación generalizada, contacto flojo	S	Reemplazo recomendado en día 5.
5	5	Corrosión significativa, se fragmenta parte del hilo	S	Mejor comportamiento; mayor masa de ánodo usada.
<b>Resumen</b>	<b>Media = 5 días</b>	—	<b>100% ≥ 3 días</b>	Desviación estándar ≈ <b>1.1 días.</b>

Nota: Tabla realizada por el autor (2025) sobre los resultados obtenido en las pruebas de vida útil.

El ensayo de uso prolongado (4 h/día) presentado en la tabla 18 permitió estimar la vida útil operativa del ánodo de alambre dulce utilizado en el sistema. Los resultados mostraron una duración promedio de 5 días, con un rango de 4 a 7 días según el prototipo evaluado. En todos los casos se superó el criterio mínimo establecido de 4 ciclos de uso continuo (equivalente a 16 horas efectivas de funcionamiento), aunque ninguno alcanzó de manera consistente el objetivo superior de 7 días.

Los modos de fallo registrados estuvieron relacionados principalmente con procesos de oxidación y corrosión del ánodo, que derivaron en pérdida de contacto eléctrico, disminución de la intensidad lumínica o, en algunos casos, fragmentación parcial del material. Si bien algunos prototipos (como el P4) alcanzaron los 7 días de funcionamiento, la mayoría presentó signos de degradación a partir del cuarto o quinto día, requiriendo ajustes o limpieza para mantener la operatividad.

En conclusión, el sistema demostró una vida útil acorde con el criterio mínimo establecido, pero aún insuficiente para garantizar un uso prolongado sin intervención del usuario. Se recomienda incrementar la masa del ánodo de alambre y mejorar el diseño del contacto eléctrico para retrasar los efectos de la corrosión y acercarse de manera más consistente al objetivo de los 7 días de autonomía continua sin degradación.

### ***11.5.6 Cuestionario de retroalimentación***

Con el fin de complementar las pruebas técnicas de verificación, se aplicó un cuestionario a los cinco participantes que interactuaron con el prototipo, orientado a recoger sus percepciones sobre la calidad de la iluminación, el mecanismo de regulación, la resistencia mecánica, la facilidad de mantenimiento y la confiabilidad en un uso prolongado. Este instrumento permitió obtener información cualitativa que enriqueció los resultados cuantitativos registrados en las pruebas.

Los resultados resumidos del cuestionario se presentan en la Tabla 19, donde se observa que, en general, los participantes percibieron la iluminación como adecuada, destacaron la utilidad del regulador de intensidad y consideraron el mantenimiento como fácil de realizar. Sin embargo, también se señalaron aspectos susceptibles de mejora, como la firmeza de la estructura en ciertos casos y la necesidad de reforzar la seguridad de las conexiones eléctricas.

**Tabla 19**

Resultados resumidos del cuestionario de verificación.

<b>Participante</b>	<b>Iluminación</b>	<b>Regulación</b>	<b>Durabilidad</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Confiabilidad (1–5)</b>
<b>P1</b>	Buena	Útil	Firme	Fácil	4
<b>P2</b>	Aceptable	Poco útil	Aceptable	Neutro	3

<b>P3</b>	Muy buena	Muy útil	Muy firme	Fácil	5
<b>P4</b>	Buena	Aceptable	Poco firme	Difícil	2
<b>P5</b>	Aceptable	Útil	Firme	Fácil	4

Nota: Tabla realizada por el autor (2025) sobre los resultados obtenido en el cuestionario de verificación.

En cuanto a la confiabilidad, la mayoría calificó el prototipo entre 3 y 5 sobre 5, lo que refleja una valoración positiva respecto a su funcionamiento diario, aunque con observaciones en torno a la resistencia de materiales reciclados utilizados en la carcasa.

El detalle completo de las respuestas individuales, incluyendo comentarios de los participantes, se encuentra en el Anexo 17 Resultados, mientras que el instrumento de recolección se presenta en el Anexo 51 Cuestionario de verificación del prototipo.

En conclusión, este cuestionario permitió evidenciar que, más allá del cumplimiento técnico de las verificaciones, el sistema fue valorado como útil y confiable, pero con la necesidad de mejorar materiales y conexiones para garantizar una mayor durabilidad y seguridad en el uso prolongado.

### ***11.5.7 Conclusión***

La etapa de verificación permitió confirmar que el prototipo final, optimizado tras la validación, cumple de manera consistente con los criterios técnicos establecidos y demuestra mejoras concretas en aspectos críticos.

En primer lugar, la medición de intensidad lumínica y uniformidad evidenció un rango estable dentro de los valores requeridos (50–150 lux) y una diferencia porcentual entre puntos inferior al 20 %, lo que garantiza una iluminación adecuada y homogénea en un área de trabajo

de 0,5 m<sup>2</sup>. La integración del foco en la carcasa contribuyó a mejorar la concentración y la distribución de la luz respecto al prototipo inicial.

La evaluación del mecanismo de regulación mostró tres niveles claramente diferenciables (bajo  $\approx$  28 lux, medio  $\approx$  92 lux y alto  $\approx$  146 lux), con incrementos progresivos superiores al 15 %. Esto confirma que el rediseño no comprometió la capacidad de ajuste y, por el contrario, consolidó la flexibilidad de uso según las demandas visuales específicas.

En cuanto a la durabilidad mecánica, el regulador mantuvo su funcionalidad tras 50 ciclos de apertura y cierre, sin fallos ni pérdidas de desempeño. El desgaste superficial observado fue mínimo y no afectó la operación, validando la robustez del mecanismo para un uso cotidiano.

La facilidad de mantenimiento se vio favorecida por la abertura trasera ampliada, lo que permitió a cinco participantes completar el recambio de batería en un tiempo promedio de 4,1 minutos, por debajo del máximo establecido ( $\leq$  5 min). Esto demuestra que la mejora de accesibilidad tuvo un impacto directo en la usabilidad práctica.

Respecto a la vida útil hasta fallo, las cinco pruebas alcanzaron en promedio 5 días de operación (4 h/día), superando ampliamente el mínimo aceptable de 4 días y aproximándose al objetivo superior de 7 días en uno de los casos.

Finalmente, el cuestionario de retroalimentación (Anexo 51, resultados en Anexo 17) complementó las pruebas técnicas con percepciones de los usuarios, quienes valoraron positivamente la iluminación, la facilidad de uso y la confiabilidad del prototipo, aunque señalaron la necesidad de reforzar ciertos materiales y conexiones.

En conjunto, la verificación no solo ratifica la pertinencia del diseño como solución de iluminación autónoma y regulable para contextos rurales, sino que demuestra que las mejoras implementadas (simplificación de la carcasa, acceso trasero y foco integrado) aportaron

beneficios medibles en desempeño, durabilidad y facilidad de uso. Con ello, el prototipo queda validado como una alternativa funcional, replicable y sostenible para las comunidades objetivo.

## **12. Sostenibilidad**

La sostenibilidad es un factor clave para asegurar que el proyecto de iluminación autónoma no solo sea viable a corto plazo, sino que también pueda mantenerse y evolucionar en el tiempo, teniendo un impacto positivo en las comunidades rurales. Esta etapa aborda las estrategias, metodologías y análisis necesarios para garantizar que el sistema de iluminación, basado en tecnologías accesibles y reciclables, pueda perdurar y crecer de manera efectiva dentro de un contexto rural, económico y ambientalmente responsable. La sostenibilidad no solo se refiere a la eficiencia técnica del sistema, sino también a su integración social y económica en las comunidades que lo adoptan.

### **12.1 Mapa de sostenibilidad**

El Mapa de Sostenibilidad es una herramienta visual que permite identificar las áreas clave de impacto y las relaciones entre las diferentes dimensiones de sostenibilidad dentro del proyecto. Este mapa organiza los elementos clave que garantizan la viabilidad del sistema de iluminación autónoma, desde los recursos materiales hasta los beneficios sociales y económicos. El propósito del Mapa es proporcionar una visión clara de cómo se integran y se potencian las acciones y decisiones en torno a la sostenibilidad del proyecto a lo largo de su implementación y posterior mantenimiento.

Las estrategias delineadas en el mapa se complementan con la matriz de riesgos presentada posteriormente, para ofrecer un enfoque integral en la sostenibilidad.

**Tabla 20**

Mapa de sostenibilidad.

<b>área</b>	<b>aspectos clave</b>	<b>acciones necesarias</b>
<b>recursos materiales</b>	uso de materiales reciclables (aluminio, carbón, electrolitos)	establecer redes de recolección de materiales asegurando calidad
<b>eficiencia energética</b>	consumo y eficiencia del sistema de iluminación	optimizar el diseño para minimizar el consumo sin sacrificar rendimiento
<b>impacto ambiental</b>	manejo adecuado del electrolito y otros desechos generados por el sistema	implementar prácticas de manejo seguro de residuos y reciclaje
<b>impacto social</b>	aceptación y participación comunitaria	capacitar y sensibilizar a la comunidad para asegurar la adopción
<b>impacto económico</b>	accesibilidad de los materiales y costos de operación	buscar proveedores locales y financiación para mantenimiento local
<b>sostenibilidad a largo plazo</b>	mantenimiento de la infraestructura y expansión del proyecto	crear un plan de mantenimiento y colaboración con instituciones locales

Nota: mapa de sostenibilidad realizado por el autor (2025)

El Mapa de Sostenibilidad organiza los elementos clave que garantizan la viabilidad del sistema de iluminación autónoma, desde los recursos materiales hasta los beneficios sociales y económicos. Se centra en áreas como el uso de materiales reciclables y la eficiencia energética, proporcionando una guía para asegurar que el sistema no solo sea técnicamente viable, sino también accesible y adaptado a largo plazo.

Con su implementación, se busca que el sistema se convierta en una solución sostenible que se adapte a las necesidades cambiantes de las comunidades y perdure con el tiempo.

## 12.2 Matriz de riesgo

La sostenibilidad es un aspecto crucial para garantizar que el sistema de iluminación autónomo no solo sea implementado, sino que también se mantenga funcional a largo plazo en las comunidades rurales. La matriz de riesgos en sostenibilidad identifica y analiza los posibles desafíos relacionados con los aspectos económicos, sociales y ambientales del proyecto. Este análisis permite anticipar problemas, priorizarlos según su probabilidad e impacto, y diseñar estrategias de mitigación que aseguren el éxito del sistema y su integración sostenible en la vida diaria de las comunidades.

Estas estrategias no solo mitigan riesgos potenciales, sino que también fortalecen las áreas identificadas en el mapa de sostenibilidad, garantizando un enfoque cohesivo y adaptado al contexto rural.

**Tabla 21**

Matriz de riesgos.

riesgo	justificación	probabilidad	impacto	estrategia de mitigación	prioridad
<b>falta de acceso continuo a materiales reciclables</b>	el sistema depende de aluminio reciclado, que puede no estar siempre disponible localmente	media	alto	implementar redes de recolección de materiales reciclables a nivel comunitario	alta
<b>desinterés comunitario en el mantenimiento del sistema</b>	la falta de capacidad o relevancia percibida podría reducir la adopción a largo plazo	alta	alto	realizar talleres de sensibilización sobre el impacto y beneficios del sistema	alta

<b>impacto ambiental del electrolito desechado</b>	el electrolito usado puede contaminar el entorno si no se maneja adecuadamente	baja	medio	proveer guías de manejo seguro del electrolito y fomentar su reutilización controlada	media
<b>costos elevados de reemplazo de componentes</b>	algunos materiales como el carbono pueden ser costosos para las comunidades rurales	media	medio	usar materiales económicos y sostenibles, buscar opciones de financiación local.	media
<b>dependencia de un único diseño técnico</b>	si el diseño actual no se adapta a las necesidades específicas, puede reducir su utilidad	media	alto	diseñar un sistema modular que permita adaptaciones según las condiciones locales	alta
<b>falta de compromiso interinstitucional</b>	la sostenibilidad depende de alianzas con entidades que pueden apoyar la implementación y mejora	baja	alto	establecer acuerdos con ONG's, gobiernos locales o empresas interesadas en sostenibilidad	media

Nota: Matriz de riesgo adaptada al proyecto y realizada por el autor (2025)

La matriz de riesgos en sostenibilidad destaca los desafíos clave que podrían afectar el éxito y la longevidad del proyecto en comunidades rurales. Entre los riesgos más significativos se encuentran la disponibilidad de materiales reciclables, el interés comunitario en el mantenimiento del sistema y el manejo ambiental del electrolito. Las estrategias propuestas

buscan soluciones prácticas, adaptadas al contexto rural, y promueven una colaboración activa entre las comunidades y otras entidades interesadas. Este enfoque integral asegura que el proyecto sea funcional, sostenible y adaptable a las necesidades locales.

### Referencias Bibliográficas

- African Climate Reporters. (2023). The impact of kerosene lamps on health in rural communities. African Climate Reporters.
- Aguilar, F. (1967). Scanning the business environment. New York: Macmillan.
- Alice Min Soo Chun. (2015). Fotografía de lámpara solar. <https://www.thekembleshop.com/products/solar-lights>
- American Psychological Association. (2020). Publication manual of the American Psychological Association (7.<sup>a</sup> ed.). APA.
- BioLite. (2020). SolarHome 620. Recuperado de <https://www.bioliteenergy.com>
- David Juckett. (2018). Fotografía de lámpara de keroseno. Recuperado de <https://es.dreamstime.com/>
- Hernán Torres. (2010). Niveles de iluminancia recomendados.
- International Energy Agency. (2023). Access to electricity dataset. IEA. <https://www.iea.org>
- International Energy Agency. (2024). World Energy 2024. IEA.
- Kano, N. (1984). Attractive quality and must-be quality. *Journal of the Japanese Society for Quality Control*, 14(2), 147–156.
- Legros, G., Havet, I., Bruce, N., & Bonjour, S. (2009). The energy access situation in developing countries. United Nations Development Programme.
- LuminAID. (2021). PackLite Max 2-in-1 Phone Charger. <https://luminaid.com>
- Nokero. (2022). N233 Solar Light. <https://nokero.com>
- Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Business model generation: A handbook for visionaries, game changers, and challengers*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Porter, M. E. (2008). The five competitive forces that shape strategy. *Harvard Business Review*, 86(1), 78–93.

Retilap. (2010). Ministerio de Minas y Energía. (2010). RETILAP: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público.

Weston, C., & Taylor, H. (1926). Study on illumination conditions for typists. *Journal of Applied Psychology*, 10, 1–15.

## **Apéndices**

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS