

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA Y DE AHORRO ENERGÉTICO EN
PROYECTOS DE ILUMINACIÓN, EVALUANDO EL CAMBIO DE LUMINARIAS
Y LA ALIMENTACIÓN CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

**ALEXANDER ÁVILA FLÓREZ
JORGE ANDRÉS FONRODONA FONTALVO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2016

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA Y DE AHORRO ENERGÉTICO EN
PROYECTOS DE ILUMINACIÓN, EVALUANDO EL CAMBIO DE LUMINARIAS
Y LA ALIMENTACIÓN CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

ALEXANDER ÁVILA FLÓREZ

JORGE ANDRÉS FONRODONA FONTALVO

Trabajo de grado para optar al título de Ingenieros Electricistas

Director

JAVIER ENRIQUE SOLANO MARTÍNEZ

Ingeniero Electricista, Ph.D

Codirector

GERMAN ALFONSO OSMA PINTO

Ingeniero Electricista, Ph.D

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto a mi hijo, que está en el cielo.

Alexander Ávila Flórez

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida y haber vivido magníficas experiencias.

A mi mamá Elvia Fontalvo por ser mi soporte, por motivarme cuando las cosas no salían del todo bien, por darme consejos valiosos, por todo su cariño y amor, por creer siempre en mis cualidades y capacidades.

A mi abuela Alicia Blanco Q.E.P.D. por haber sido un gran apoyo durante toda mi vida, por criarme y enseñarme a ser una mejor persona, por toda su paciencia, por consentirme y demostrarme siempre su cariño y amor.

A mis hermanos Jose Mendoza y Alexandra Fonrodona por sus consejos y por apoyarme en los momentos buenos y en los momentos adversos, por su preocupación durante esta etapa de mi vida y por estar a mi lado sin importar la distancia o cualquier adversidad.

A Miguel Ramos quien siempre me ha apoyado y preocupado por mi bienestar desde la distancia, por sufrir en mis momentos adversos y alegrarte y disfrutar mis triunfos y satisfacciones.

A todas las personas que con su apoyo, comprensión, cariño, consejos y preocupación me ayudaron a desarrollar y culminar esta etapa muy importante para mi vida.

A mi compañero de proyecto de grado Alexander Ávila por su ayuda y apoyo durante esta etapa universitaria.

A mi director de proyecto Javier Solano quien con su ayuda, apoyo, consejos y entrega hizo posible la realización del proyecto.

A mis amigos con quienes viví momentos de mucha alegría y me escucharon, comprendieron, apoyaron y aconsejaron en los tiempo de adversidad.

Jorge Andrés Fonrodona Fontalvo

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a mis padres y hermanos, que estuvieron presentes siempre en este proceso, a mis amigo y compañero de proyecto Jorge Andrés Fonrodona Fontalvo, por la paciencia y enseñanzas, agradecimientos especiales a nuestro director Javier Enrique Solano Martínez, y a Dios, que me ha guiado siempre.

Alexander Ávila Flórez

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.1. ILUMINACIÓN	22
1.2. PANELES SOLARES	22
1.3. ANÁLISIS FINANCIERO.....	23
1.5. CASO DE ESTUDIO.....	24
1.4. OBJETIVO GENERAL	27
1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
2. RETSCREEN.....	28
2.1. MODELO DE ENERGÍA	29
2.1.1. Mediciones de eficiencia energética	29
2.1.2. Generación de electricidad – Sistema fotovoltaico.	31
2.2. ANÁLISIS DE COSTOS.....	33
2.3. ANÁLISIS DE EMISIONES.....	34
2.4. ANÁLISIS FINANCIERO.....	35
2.5. ANÁLISIS DE RIESGOS.....	37
2.6. COMPARACIÓN CON OTROS PROGRAMAS	37
3. DIMENSIONAMIENTO SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.....	43
3.1. DIALUX.....	43
3.2. SISTEMA FLUORESCENTE	44
3.3. SISTEMA LED	51

4. ARREGLOS FOTOVOLTAICOS.....	57
4.1. METODOLOGÍA	57
4.2. DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	58
4.2.1. Recuso solar.	58
4.2.2. Selección del inversor.	59
4.2.3. Selección del panel.	61
4.2.4. Cálculo del sistema de almacenamiento.....	63
4.2.5. Regulador de carga.	65
4.2.6 Días de autonomía.....	67
5. ANÁLISIS ECONÓMICO MEDIANTE RETSCREEN.....	68
5.1 RETSCREEN.....	69
5.2 MEDICIONES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	69
5.2.1 Modelo de energía.	70
5.2.2 Análisis de costos.	71
5.2.3 Análisis de emisiones.	72
5.2.4 Análisis financiero.	72
5.3 GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA – SISTEMA FLUORESCENTE.....	74
5.3.1 Modelo de energía.	75
5.3.2 Análisis de costos.	75
5.3.3 Análisis de emisiones.	76
5.3.4 Análisis financiero.	76
5.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO – ILUMINACIÓN LED.....	78
5.4.1 Modelo de energía.	78
5.4.2 Análisis de costos.	79
5.4.3 Análisis de emisiones.	79
5.4.4 Análisis financiero	79
6. CONCLUSIONES	81

REFERENCIAS84

BIBLIOGRAFÍA.....86

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Luminarias propuestas – Sistema Fluorescente.	44
Tabla 2. Valores establecidos de luxes - RETILAP [8].....	45
Tabla 3. Nivel de iluminación medio - Sistema Fluorescente.....	48
Tabla 4. Perfiles de uso.	49
Tabla 5. Cantidades de luminarias fluorescentes.	50
Tabla 6. Costos sistema fluorescente.	50
Tabla 7. Luminarias seleccionadas – Sistema LED.....	51
Tabla 8. Nivel de iluminación medio - Sistema LED.	55
Tabla 9. Cantidades luminarias LED.....	55
Tabla 10. Cotizaciones luminarias LED.	56
Tabla 11. Cotizaciones de inversores.	60
Tabla 12. Especificaciones técnicas inversor FHOENIX-GREEN ENERGY 3000W].	61
Tabla 13. Datos del panel seleccionado.	63
Tabla 14. Comparación de precios de los paneles analizados.	63
Tabla 15. Precios de baterías comerciales.	64
Tabla 16. Comparación de costos entre baterías.	65
Tabla 17. Especificaciones y precios de reguladores de carga.	66
Tabla 18. Comparación de costos.	66
Tabla 19. Costos de implementos de los sistemas fotovoltaicos.	67
Tabla 20. Distribución de zonas.....	70
Tabla 21. Datos técnicos.	71
Tabla 22. Costos iniciales y ahorros anuales.....	71
Tabla 23. Consumo de energía y costos asociados.	72
Tabla 24. Indicadores económicos	73

Tabla 25. Elementos del arreglo fotovoltaico.	75
Tabla 26. Costos iniciales y O&M.	76
Tabla 27. Resultados económicos.	77
Tabla 28. Componentes sistema solar fotovoltaico.	78
Tabla 29. Inversión inicial y gastos O&M	79
Tabla 30. Resultados financieros.	80

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Planos arquitectónicos primer piso.	25
Figura 2. Planos arquitectónicos pisos 2, 3, 4, y 5.....	26
Figura 3. Planos arquitectónicos pisos 6 y 7.....	26
Figura 4. Interfaz inicial RETScreen	29
Figura 5. Ingreso costo de electricidad – Mediciones de eficiencia energética.....	30
Figura 6. Características de la instalación – Edificación comercial.....	30
Figura 7. Luminarias – Método 2.	31
Figura 8. Ingreso de datos – Sistema eléctrico base.	32
Figura 9. Elementos sistema fotovoltaico – Fuera de Red.....	33
Figura 10. Análisis de costos.	34
Figura 11. Análisis de emisiones.	35
Figura 12. Parámetros financieros requeridos.	36
Figura 13. Resumen de costos/ahorros/ingresos.....	36
Figura 14. Viabilidad financiera.....	37
Figura 15. Hall recepción – Sistema Fluorescente.....	45
Figura 16. Corredores primer piso – Sistema Fluorescente.....	46
Figura 17. Corredores segundo piso – Sistema Fluorescente.	46
Figura 18. Corredores sexto piso – Sistema Fluorescente.	46
Figura 19. Baño hombres – Sistema Fluorescente.	47
Figura 20. Baño mujeres – Sistema Fluorescente.	47
Figura 21. Escaleras – Sistema Fluorescente.	47
Figura 22. Cafetería – Sistema Fluorescente.	48
Figura 23. Hall recepción – Iluminación LED.	52
Figura 24. Corredores primer piso – Iluminación LED.	52
Figura 25. Corredores segundo piso – Iluminación LED.....	52

Figura 26. Corredores sexto piso – Iluminación LED.....	53
Figura 27. Baño hombres – Iluminación LED.	53
Figura 28. Baño mujeres – Iluminación LED.....	53
Figura 29. Escaleras – Iluminación LED.	54
Figura 30. Cafetería – Iluminación LED.....	54
Figura 31. Valores de radiación promedio 2012.	59
Figura 32. Flujo de caja	74
Figura 33. Gráfica flujo acumulado.	77

LISTA DE ANEXOS

Anexo A -- Resultados de simulación - Sistema de iluminación Fluorescente.

Anexo B -- Resultados de simulación - Sistema de iluminación LED

Anexo C -- Cálculos de paneles

Anexo D -- Ficha técnica - Panel CANADIAN SOLAR CS6P-255P

Anexo E -- Ficha técnica - Baterías Rolls s480

Anexo F -- Ficha técnica - Regulador Steca Solarix PRS 2020

Anexo G -- Caso de estudio - Cambio de sistemas de iluminación

Anexo H -- Instalador RETScreen 4

Anexo I -- Caso de estudio - Sistema fotovoltaico para iluminación fluorescente

Anexo J -- Caso de estudio - Sistema fotovoltaico para luminarias LED

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA Y DE AHORRO ENERGÉTICO EN PROYECTOS DE ILUMINACIÓN, EVALUANDO EL CAMBIO DE LUMINARIAS Y LA ALIMENTACIÓN CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.*

AUTORES: JORGE ANDRES FONRODONA FONTALVO**
ALEXANDER AVILA FLOREZ**

PALABRAS CLAVE: SISTEMA FOTOVOLTAICO, ENERGIA RENOVABLE, LED, VIABILIDAD ECONOMICA.

DESCRIPCIÓN:

En este proyecto se usó el software RETScreen 4 para analizar la viabilidad económica de instalar sistemas de iluminación LED en lugar de sistemas fluorescentes en las zonas generales de una nueva edificación ubicada en el Área Metropolitana de Bucaramanga y alimentar estos sistemas mediante energía solar fotovoltaica sin dependencia de la red durante su uso diario.

Para llevar a cabo el estudio de viabilidad, se necesitaron datos técnicos de los sistemas de iluminación y generación de energía. El dimensionamiento de los sistemas de iluminación se realizó con el software DIALux, con el cual se logró simular la iluminación de los espacios deseados para poder calcular la carga total de cada sistema. El dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos se hizo siguiendo paso a paso un método manual de diseño visto en la asignatura ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE, curso dictado por el profesor Cesar Yobani Acevedo Arenas.

Luego de tener los datos técnicos necesarios, se procedió a usar los módulos de Mediciones de eficiencia energética y Generación de electricidad de RETScreen 4, para analizar los aspectos económicos del proyecto, y analizar la viabilidad de este.

Los costos totales de los sistemas fotovoltaicos se obtuvieron de proyectos de grados anteriores, revistas especializadas de ingeniería y cotizaciones hechas en el mercado; para conocer los costos de los sistemas de iluminación se realizaron cotizaciones mediante distribuidores locales y consultas bibliográficas en revistas de construcción.

* Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Dr. Javier Enrique Solano Martínez. Codirector: Dr. German Alfonso Osma P.

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF ECONOMIC FEASIBILITY AND ENERGY SAVINGS IN LIGHTING PROJECTS, EVALUATING THE CHANGE OF LUMINAIRES AND THE POWER SUPPLY WITH SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY.*

AUTHORS: JORGE ANDRES FONRODONA FONTALVO
ALEXANDER AVILA FLOREZ**

KEYWORDS: PHOTOVOLTAIC SYSTEM, RENEWABLE ENERGY, LED, ECONOMICAL VIABILITY.

DESCRIPTION:

In this project RETScreen 4 software were used to analyze the economic viability of installing LED lighting systems instead of fluorescent systems in the general areas of a new building located in the Metropolitan Area of Bucaramanga and to feed these systems through photovoltaic solar energy without grid dependency during its daily use.

To carry out the feasibility study, technical data on lighting and power generation systems were required. The sizing of the lighting systems was done with the software DIALux, with which it was possible to simulate the illumination of the desired spaces in order to calculate the total load of each system. The sizing of photovoltaic systems was followed step by step a manual method of design seen in the subject ENERGY AND ENVIRONMENT, a course taught by Professor Cesar Yobani Acevedo Arenas.

After having the necessary technical data, were used the modules of Measurements of energy efficiency and Generation of electricity of RETScreen 4, to analyze the economic aspects of the project, and to analyze the viability of this one.

The total costs of photovoltaic systems were obtained from degree projects previous, magazines specialized in engineering and quotations made in the market; for knowing the costs of the lighting systems were made quotations through locals distributors and bibliographic queries in magazines from constructions

*Degree Project

**Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications. Director: Dr. Javier Enrique Solano Martínez. Co-director: Dr. German Alfonso Osma P.

INTRODUCCIÓN

La primera lámpara eléctrica fue creada hace más de 130 años [1]. Desde entonces, la optimización de estos dispositivos ha sido continua. En las últimas décadas la optimización de estos dispositivos se ha acelerado con nuevas tecnologías, aumentando la eficiencia eléctrica y durabilidad de los sistemas de iluminación.

Muchas edificaciones antiguas aun no incorporan nuevas formas de iluminación, y por eso la eficiencia de sus instalaciones es baja cuando se compara con instalaciones recientes. Esto se debe a que los sistemas antiguos usan lámparas con mayores pérdidas eléctricas que las modernas. Por esto, se hace importante el análisis de viabilidad de proyectos que involucren la renovación de los sistemas antiguos de iluminación.

Existen múltiples maneras de modernizar instalaciones eléctricas. Para ello actualmente se está incursionando en la implementación de energías renovables. Uno de estos métodos de generación de energía son los sistemas solares fotovoltaicos, estos están tomando fuerza, debido a que su precio ha disminuido notablemente.

Se han desarrollado herramientas computacionales que ayudan a hacer estudios de viabilidad de proyectos que involucren cambios de iluminación y generación de energía con fuentes no convencionales. Una de estas herramientas es RETScreen 4, que se ha venido usando a nivel mundial debido a su fácil acceso.

En este proyecto se utiliza RETScreen 4 para analizar la viabilidad económica del cambio de sistemas de iluminación, además se pretende estudiar la viabilidad

financiera de alimentar los sistemas de iluminación propuestos mediante energía solar fotovoltaica. Para ello, se toma como caso de estudio la necesidad real planteada por una empresa local. Los sistemas de iluminación se van a diseñar utilizando DIALux 4.12 como herramienta de apoyo. Los sistemas fotovoltaicos se realizan utilizando el método propuesto en la materia Energía y Medio Ambiente.

El principal aporte del proyecto es proponer una metodología de estudio que permita realizar análisis financieros de desarrollar proyectos de cambio de sistemas de iluminación y sustitución de fuentes de energía mediante sistemas fotovoltaicos utilizando herramientas y métodos gratuitos.

1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La iluminación de las edificaciones puede llegar a representar un alto porcentaje en el consumo energético de la misma, en los hospitales el consumo energético por iluminación alcanza el 20% y 30%, en los hoteles entre el 25% y 50 %, en oficinas el 50%, y en edificios netamente comerciales el consumo está entre el 20% y 70 % [2].

A partir de esta problemática es necesario dimensionar sistemas de iluminación que propendan al ahorro de energía. Estos nuevos sistemas presentan elevados costos iniciales, lo cual genera rechazo para invertir en estos proyectos. Por ello, es importante analizar los aspectos económicos involucrados en estas inversiones como ahorros anuales, costos de operación y mantenimiento, costos de remplazo de luminarias con el fin de evaluar si resulta financieramente viable cambiar sistemas de iluminación poco eficientes por sistemas que ayuden al ahorro energético.

Una forma de disminuir el consumo de energía proveniente de la red eléctrica es alimentar los sistemas de iluminación mediante energía solar fotovoltaica. Sin embargo, muchas empresas evitan invertir en estos proyectos debido a sus altos costos iniciales. Se hace necesario evaluar todos los factores de tipo financiero que afecten el desarrollo del proyecto con la finalidad de evaluar la factibilidad económica de alimentar sistemas de iluminación usando paneles solares. Se deben considerar tres aspectos: Iluminación, paneles solares y análisis económico. Estos serán explicados a continuación.

1.1. ILUMINACIÓN

Para dimensionar un sistema de iluminación el primer paso es seleccionar la tecnología de iluminación a usar. Dependiendo del área a iluminar se pueden usar luminarias desde tipo incandescente hasta luminarias de tipo fluorescente o LED. A partir de la luminaria seleccionada, lo siguiente es realizar la distribución de lámparas de manera tal, que cumpla con los niveles de iluminación requeridos, estos niveles pueden ser tomados de la normativa o por criterio del diseñador. Luego, conociendo las cantidades de luminarias a instalar se cotizan los costos de inversión inicial del proyecto.

Existen varias opciones para realizar el dimensionamiento de estos sistemas. Una de ellas es acudir a proveedores o fabricantes que puedan brindar una asesoría técnica, como lo ofrece Philips, sin embargo, esto conllevaría a utilizar únicamente las luminarias del fabricante asesor sin posibilidad de elegir otras propuestas. Existe un software de iluminación gratuito llamado DIALux 4.12. Este programa permite diseñar sistemas de iluminación brindando la oportunidad de acceder a los catálogos de los principales fabricantes a nivel mundial. La herramienta será implementada en el Capítulo 3.

1.2. PANELES SOLARES

Para el diseño de sistemas fotovoltaicos el primer paso a considerar es conocer la demanda de energía de la instalación, estos valores pueden ser calculados a partir de los perfiles de uso diario que presente la carga. Una vez conocida la demanda diaria de energía se debe conocer el potencial solar que ofrece la zona donde se realizará la instalación mediante las horas pico sol, estos valores pueden ser obtenidos de diferentes institutos como la NASA o el IDEAM. Tomando como referencia la potencia instalada se selecciona el inversor requerido para suplir

dicha potencia. A partir de los datos de demanda y horas pico se calculan los paneles requeridos por el sistema así como las baterías y reguladores de carga. Una vez conociendo las cantidades de elementos a instalar, se cotizan los costos iniciales.

Existen programas como HOMER que permiten realizar el dimensionamiento de estos sistemas de energía, sin embargo, se deben pagar altas sumas de dinero para adquirir sus licencias de uso. Por ello, es importante conocer métodos gratuitos que permitan diseñar sistemas fotovoltaicos. Una metodología a utilizar es la enseñada en el curso de Energía y Medio Ambiente dictada por Cesar Yobani Acevedo Arenas [3] [4]. Este método será utilizado en el Capítulo 4.

1.3. ANÁLISIS FINANCIERO

Cuando se hace el análisis financiero de cambiar sistemas de iluminación o sistemas de energía el paso inicial es calcular el gasto anual por electricidad que presenta el sistema a remplazar; estos valores se consideran ahorros para el sistema nuevo. Luego de obtener este valor lo siguiente es conocer los costos iniciales incluyendo instalación, transporte y demás gastos que acarrea el sistema propuesto. Además de estos valores, es necesario determinar los costos de operación y mantenimiento y remplazos de partes. Una vez calculados estos gastos se deben conocer índices de inflación, tasa de oportunidad y vida del proyecto para calcular parámetros como VPN y TIR que permitan determinar la viabilidad económica del proyecto.

Determinar la viabilidad económica de un proyecto se puede hacer de distintas maneras. Una forma es utilizar softwares como FinAnalysis, sin embargo, esta herramienta necesita ser licenciada para su uso. Un programa gratuito que puede ser implementado para realizar análisis de viabilidad financiera de proyectos de

energías es RETScreen 4. Este programa permite estudiar desde el punto de vista económico el remplazo de sistemas poco eficientes por nuevos sistemas que generan ahorros de dinero y energía. Es utilizado alrededor del mundo por sectores académicos, industriales y gubernamentales como herramienta de ayuda para la toma de decisiones al invertir en proyectos de energía. Este software se utilizará en el Capítulo 5.

1.5. CASO DE ESTUDIO

Para el caso de estudio se toma una necesidad real expresada una empresa local que tiene a su cargo las zonas generales de una edificación que será construida en el Área Metropolitana de Bucaramanga. El propósito es instalar un sistema de iluminación que consuma poca energía y genere bajos costos. Para esto se van a dimensionar dos sistemas de iluminación utilizando tecnología fluorescente y LED, con el fin de comparar la viabilidad financiera de instalar sistemas LED frente a sistemas fluorescentes y así determinar cuál sistema instalar.

Además de estudiar la viabilidad financiera de instalar sistemas LED en lugar de sistemas fluorescente se analiza la viabilidad de alimentar los sistemas de iluminación propuestos mediante energía solar fotovoltaica, esto con la finalidad de examinar si resulta factible financieramente generar su propio consumo de electricidad.

Las zonas generales están conformadas por 7 corredores, 1 escalera por piso, 14 baños, hall de recepción y cafetería. Como los corredores del piso 2 al 5, los baños de hombres y mujeres, escaleras y corredores del piso 6 y 7 tienen igual disposición, al momento de diseñar los sistemas de iluminación solo se estudiará una zona y se aplicarán los resultados al resto de áreas iguales. Los planos arquitectónicos fueron suministrados por la empresa.

En las Figuras 1, 2 y 3 se presentan los planos del primer, segundo y sexto piso. Las zonas remarcadas con color verde serán las áreas de estudio.

Figura 1. Planos arquitectónicos primer piso.

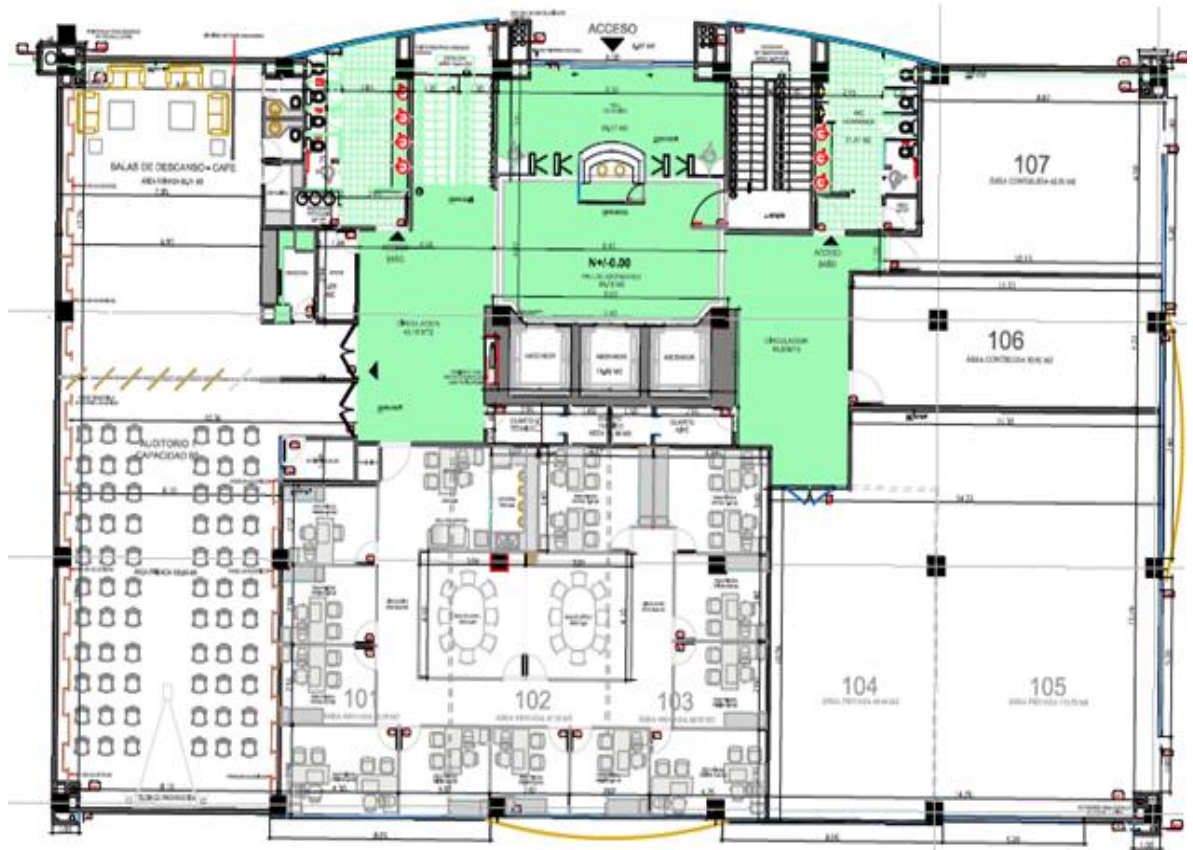


Figura 2. Planos arquitectónicos pisos 2, 3, 4, y 5..

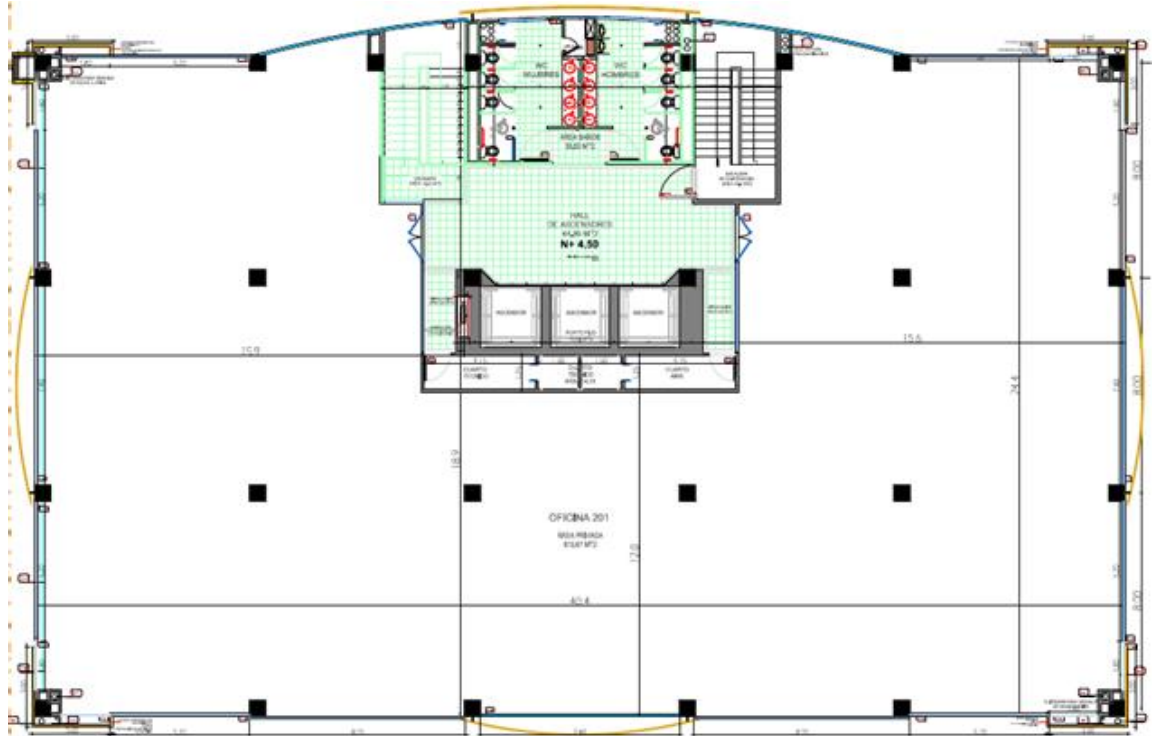
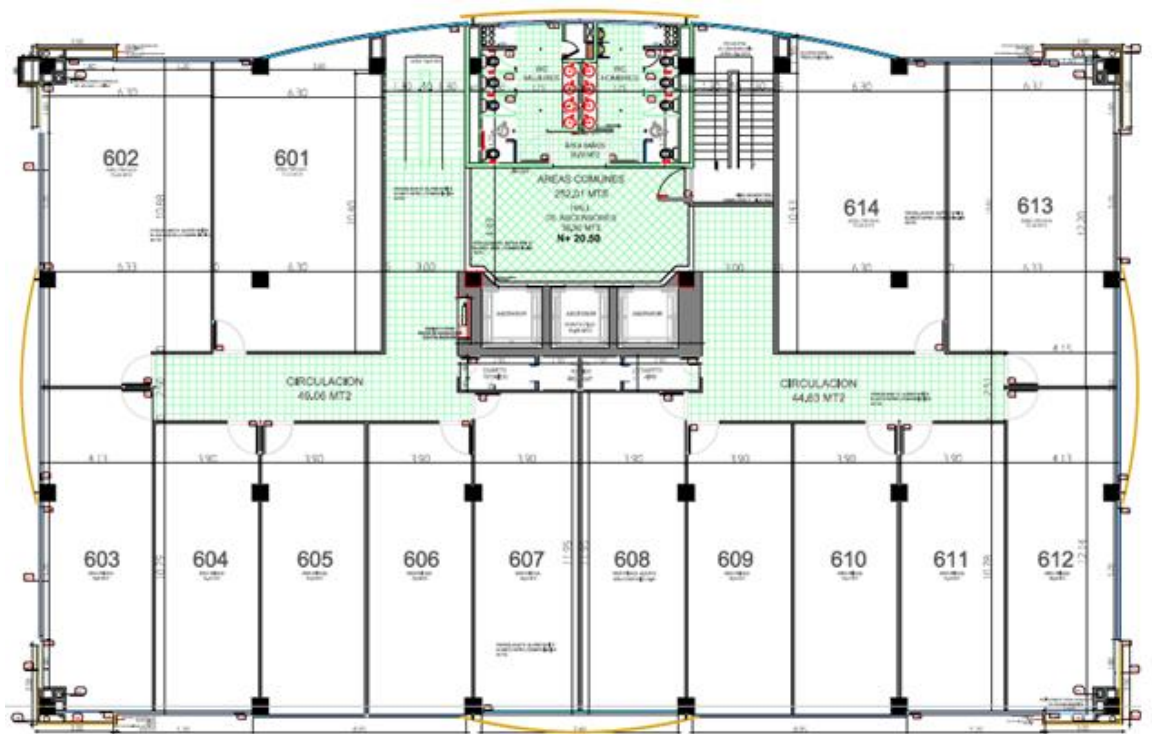


Figura 3. Planos arquitectónicos pisos 6 y 7



1.4. OBJETIVO GENERAL

Analizar la viabilidad económica del cambio de luminarias y sustitución de la fuente de alimentación por energía fotovoltaica en instalaciones de alumbrado usando la herramienta RETScreen 4.

1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Delimitar los escenarios en los que RETScreen 4 se muestra como herramienta potencialmente útil, y determinar las ventajas y desventajas que posee frente a programas que tienen una orientación parecida.
- Utilizar el módulo “Mediciones de eficiencia energética” del programa RETScreen 4, como herramienta potencial para la determinación de la viabilidad económica en proyectos de cambio de iluminación con fines de ahorro energético.
- Utilizar el módulo “Generación de electricidad” de la herramienta RETScreen 4, como solución probable a la hora de analizar la viabilidad de cambio de fuente de energía por energía solar fotovoltaica.
- Cuantificar el nivel de inversión en una edificación, en donde se logre comparar las ventajas y desventajas frente a los siguientes casos:
 - Cambiando la iluminación de la edificación por un nuevo sistema de luminarias de mayor eficiencia.
 - Alimentando con energía solar fotovoltaica un nuevo sistema de iluminación más eficiente.
 - Alimentando con energía solar fotovoltaica el antiguo sistema de iluminación.

2. RETSCREEN

El *Software de Análisis de Proyectos de Energía Limpia RETScreen* es una herramienta de apoyo de decisiones desarrollada por el Ministerio de Recursos Naturales de Canadá en 1996. Es un programa gratuito y puede ser usado para evaluar la producción y ahorro de energía, incluyendo costos, reducciones de emisiones, viabilidad financiera y riesgos para varios tipos de energías renovables y eficiencia energética.

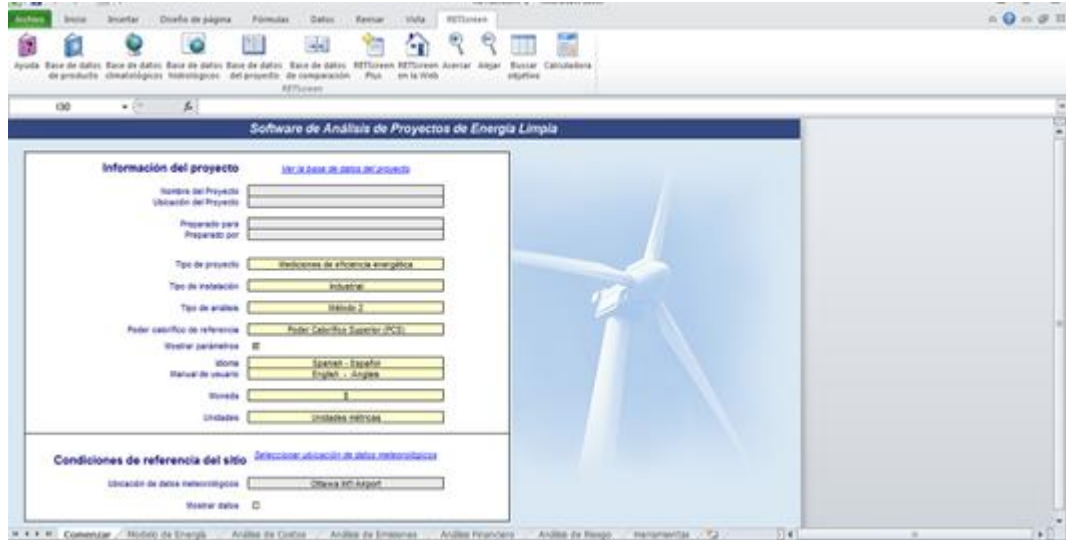
RETScreen compara un “caso base” y un “caso propuesto”. La comparación incluye todos los costos e índices económicos como Tasa Interna de Retorno (TIR) y Valor Presente Neto (VPN). El software puede ser aplicado para analizar fuentes no convencionales de energía y generación térmica, además, es posible incorporar mediciones de eficiencia energética de manera sencilla. Sin embargo solo incorpora el almacenamiento de la energía mediante el uso de baterías.

Se puede hacer un análisis estándar de proyectos de energía en cinco pasos, entre los cuales están; modelo de energías, análisis de costos, emisiones, financiero y de riesgos. La arquitectura del programa permite analizar fuentes convencionales, no convencionales y también la cogeneración. Es aplicado frecuentemente para estudios de pre factibilidad, factibilidad y desarrollo. Permite analizar proyectos a largo plazo hasta por periodos de 25 años.

La interfaz inicial despliega 12 botones que permiten seleccionar la moneda, la ubicación, el tipo de proyecto y el tipo de análisis para el mismo, entre otros. Además, se brinda la posibilidad de seleccionar unidades métricas o imperiales para los cálculos, el idioma de trabajo, el poder calorífico de referencia y el idioma para el manual de usuario (Solamente inglés o francés).

En la Figura 4 se visualiza la interfaz inicial del programa.

Figura 4. Interfaz inicial RETScreen



2.1. MODELO DE ENERGÍA

En esta opción se elabora el modelamiento técnico del caso base y el propuesto. Las alternativas para el dimensionamiento de los sistemas varían dependiendo del tipo de proyecto, entre los datos relevantes a ingresar se encuentran especificaciones de los equipos, costo de la electricidad o del combustible requerido y horas de operación.

2.1.1. Mediciones de eficiencia energética. . Es posible evaluar la viabilidad de las mejoras de eficiencia energética en instalaciones residenciales, comerciales, institucionales e industriales. El software se puede implementar para analizar proyectos que incorporen la evaluación de la eficiencia energética de proyectos de ventilación, iluminación, motores, entre otros. Es útil para nuevas construcciones y remodelaciones. Se pueden modelar instalaciones completas o separar zonas individualmente. [5]

En la Figura 5 se presenta la opción para ingresar el costo de electricidad.

Figura 5. Ingreso costo de electricidad – Mediciones de eficiencia energética.

Combustibles y horarios						
Combustible	Tipo de combustible 1	Tipo de combustible 2	Tipo de combustible 3	Tipo de combustible 4	Tipo de combustible 5	Tipo de combustible 6
Tipo de combustible	Electricidad					
Unidad - Consumo combustible	MWh					
Unidad - Precio combustible	\$/MWh					
Precio del combustible						

En la Figura 6 se observan las características de la instalación para una edificación comercial.

Figura 6. Características de la instalación – Edificación comercial.

Características de la instalación								
Mostrar:	Calentamiento	Enfriamiento	Electricidad	Costos Iniciales incrementales	Ahorros en costo de combustible	Ahorros incrementales 0 y	Pago simple de retorno del capital año	¿Incluye mediciones?
	GJ	GJ	GJ	\$	\$	\$		<input type="checkbox"/>
Combustible ahorrado								
Sistema de calefacción								
Sistema de enfriamiento								
Cobertura de edificios								
Ventilación								
Luminarias								
Equipo eléctrico								
Agua caliente								
Bombas								
Ventiladores								
Motores								
Valor de proceso								
Recuperación de calor								
Aire acondicionado								
Refrigeración								
Ciclo								
Total	0	0	0	0	0	0		

Iluminación: El módulo de iluminación puede ser utilizado para evaluar el ahorro de energía, los costos, la reducción de emisiones y viabilidad financiera. Para este análisis el programa ofrece dos métodos de estudio. El método 1 requiere datos específicos del proyecto, como el área de la instalación, la carga de iluminación por área, las horas de operación, los costos iniciales incrementales del cambio de iluminación, los ahorros incrementales que se presentan durante el proyecto y el número de unidades. Con esta información, se estima la demanda de electricidad para suplir la carga del caso propuesto y el programa calcula el porcentaje de aumento o disminución de consumo de energía con respecto al caso base.

Con el segundo método se hace comparación más detallada, se pueden seleccionar los espacios a iluminar, desde zonas residenciales hasta edificaciones industriales. Una vez seleccionada el área, el software sugiere niveles de

iluminación para dicha zona, sin embargo, se presenta la alternativa de ingresar el nivel de iluminación requerido. El usuario ingresa la carga eléctrica y el número de dispositivos utilizados.

En la Figura 7 se presenta el segundo método para introducir los datos de los sistemas de iluminación.

Figura 7. Luminarias – Método 2.

The screenshot shows a software interface for configuring lighting systems. At the top, there are tabs for 'Luminarias' (1-5), a 'Descripción' field, and 'Método' (1, 2). The main area is divided into 'Caso base' and 'Caso propuesto' columns. A sidebar on the left lists parameters with checkboxes. The main table contains the following data:

	Caso base	Caso propuesto
lx	Definido por el usuario	1
lm/W	80,4	80,4
W		
Número de dispositivos - sugerido		0
Número de dispositivos		
Nivel de iluminación - variación		0,0
h/d		
\$		
\$		
Número de unidades	1	1
MWh	0	0

Additional information: 0,0% (next to MWh), Impacto del aire acondicionado (radio buttons for Sí, No), Impacto de la calefacción ambiental (radio buttons for Sí, No).

2.1.2. Generación de electricidad – Sistema fotovoltaico. El módulo de potencia fotovoltaica se puede utilizar para evaluar la producción y ahorro de energía, costos, reducción de emisiones, viabilidad financiera y el riesgo en proyectos fotovoltaicos con red central, red aislada o fuera de red. El software puede modelar una amplia variedad de proyectos, desde plantas centrales de energía a gran escala, hasta pequeños sistemas ubicados en edificios comerciales y casas, también analiza el suministro de potencia híbrido a distancia, y los sistemas autónomos de almacenamiento en baterías para la iluminación. [6]

En la Figura 8 se muestran las opciones para ingresar los datos del sistema eléctrico base.

Figura 8. Ingreso de datos – Sistema eléctrico base.

Proyecto de generación eléctrica

Sistema eléctrico de potencia del caso base

Tipo de red: **Fuera-red**

Tecnología: **Electricidad de la red**

Precio del combustible: \$/kWh

Capacidad: kW

Costo anual de operación y mantenimiento: \$

Tarifa de electricidad - caso base: \$/kWh (0,000)

Costo total de electricidad: \$ (0)

Características de la carga

Método 1

Método 2

Demanda de electricidad - diaria - CC: Unidad kWh

Demanda de electricidad - diaria - CA: Unidad kWh

Correlación recurso-carga intermitente: **Negativo**

Porcentaje del mes usado

Demanda de electricidad - anual - CC: MWh (Caso base: 0,000; Caso propuesto: 0,000)

Demanda de electricidad - anual - CA: MWh (Caso base: 0,000; Caso propuesto: 0,000)

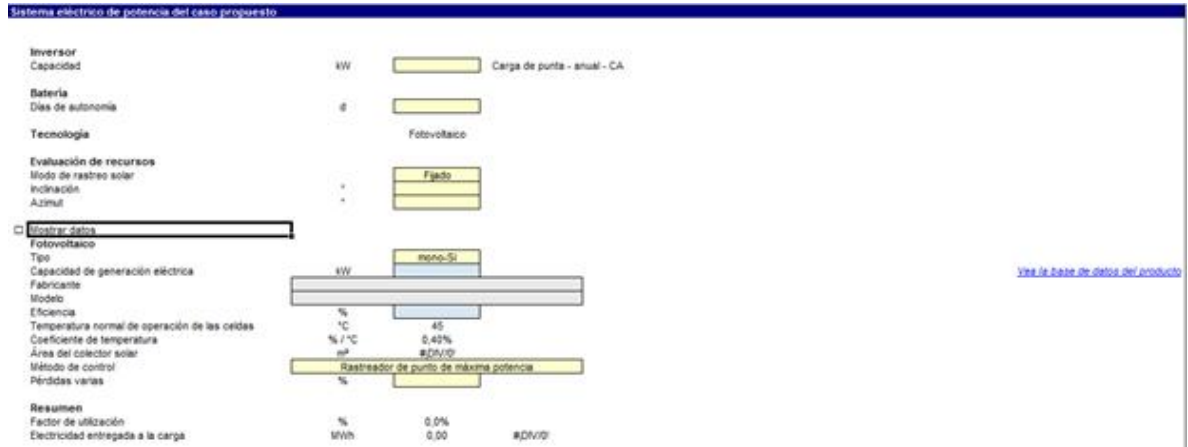
Carga punta - anual: kW

Energía ahorrada

RETScreen ofrece 5 opciones para analizar la alimentación con energía solar fotovoltaica. La primera es Red central, se inyecta energía a la red como un generador. La segunda opción se llama Red Central y Carga Interna, que combina la red central con un consumo propio. Cuando existen zonas no conectadas a la red principal, existe la posibilidad de crear una red alterna que genere la electricidad para satisfacer la demanda de la población, esta se modela como Red aislada. Si además de entregarle energía a una carga aislada, abastece su demanda propia, se puede estudiar como Red Aislada con Carga Interna. Finalmente, si el arreglo fotovoltaico tiene como finalidad el autoconsumo, este se trabaja con la opción Fuera de Red.

En la Figura 9 se observan los elementos considerados para un sistema fotovoltaico que opere como Fuera de Red.

Figura 9. Elementos sistema fotovoltaico – Fuera de Red.



2.2. ANÁLISIS DE COSTOS

El software permite ingresar los costos asociados al caso propuesto, estos abordan la inversión inicial, el mantenimiento del sistema, el ahorro frente al caso base, entre otros. El usuario puede consultar la base de datos de productos para obtener información de contacto de proveedores con el fin de obtener precios u otra información requerida. [6]

Dentro de esta opción se consideran tres parámetros. El primero se refiere a los costos iniciales, allí se incluyen estudios de factibilidad, precios de los equipos y valores asociados a instalación, desarrollo e ingeniería requerida.

Luego de esto se ingresan los costos anuales, estos se asocian a la operación y mantenimiento del proyecto propuesto, entre los cuales están arrendamiento de tierras, impuestos a la propiedad, mano de obra, gastos generales y administrativos, entre otros. Finalmente los costos periódicos se refieren a aquellos que deben asumirse para mantener el proyecto en condiciones de trabajo.

Los costos considerados en el programa se presentan en la Figura 10.

Figura 10. Análisis de costos.

Selección - opciones					
<input checked="" type="radio"/> Método 1	<input checked="" type="radio"/> Notas/Rango	Notas/Rango			
<input type="radio"/> Método 2	<input type="radio"/> Segunda moneda	Ninguno			
	<input type="radio"/> Reparto de costos				

Costos iniciales (créditos)	Unidad	Cantidad	Costo unit.	Monto	Costos relat.
Estudio de factibilidad	costo			\$ -	-
Subtotal:				\$ -	-
Desarrollo	costo			\$ -	-
Subtotal:				\$ -	-
Ingeniería	costo			\$ -	-
Subtotal:				\$ -	-
Balance del sistema y misceláneos					
Repuestos	%			\$ -	-
Transporte	proyecto			\$ -	-
Entrenamiento y puesta en servicio	p-d			\$ -	-
Definido por el usuario	costo			\$ -	-
Contingencias	%			\$ -	-
Intereses durante la construcción				\$ -	-
Subtotal:				\$ -	-
Costos iniciales totales				\$ -	-

Costos anuales (créditos)	Unidad	Cantidad	Costo unit.	Monto	
Operación y Mantenimiento					
Costo de O y M (ahorros)	proyecto			\$ -	-
Partes y labor	proyecto			\$ -	-
Definido por el usuario	costo			\$ -	-
Contingencias	%			\$ -	-
Subtotal:				\$ -	-

Costos periódicos (créditos)	Unidad	Año	Costo unit.	Monto	
Definido por el usuario	costo			\$ -	-
Fin de la vida del proyecto	costo			\$ -	-

2.3. ANÁLISIS DE EMISIONES

Se puede calcular la cantidad de CO2 emitido al ambiente del caso propuesto teniendo en cuenta el tipo de combustible utilizado; el programa incluye la cantidad generada de tCO2/MWh del sistema eléctrico de cada país. Además, se pueden ingresar incentivos fiscales que ayuden a la reducción de GEI (Gases de Efecto Invernadero). Es opcional el uso de este paso.

En la Figura 11 se visualizan los datos a ingresar y los cálculos realizados en la opción análisis de emisiones.

Figura 11. Análisis de emisiones.

Caso base del sistema eléctrico (Línea de base)					
Tipo de combustible		Factor emisión de GEI (excl. T y D) tCO ₂ /MWh	Pérdidas T y D %	Factor emisión de GEI tCO ₂ /MWh	
Colombia	Todos los tipos	0,17%	7,2%	0,189	
<input type="checkbox"/> Cambios de línea base en la vida del proyecto					

Resumen del sistema GEI en caso base (Línea de base)					
Tipo de combustible	Mezcla de combustible %	Consumo de combustible MWh	emisión de GEI tCO ₂ /MWh	Emissiones GEI tCO ₂	
Electricidad	100,0%	9	0,189	1,6	
Total	100,0%	9	0,189	1,6	

Resumen sistema GEI caso propuesto (Proyecto de generación eléctrica)					
Tipo de combustible	Mezcla de combustible %	Consumo de combustible MWh	emisión de GEI tCO ₂ /MWh	Emissiones GEI tCO ₂	
Solar	100,0%	8	0,000	0,0	
Total	100,0%	8	0,000	0,0	

Resumen de reducción de emisiones GEI					
Proyecto de generación eléctrica	Caso base emisiones de GEI tCO ₂	Caso propuesto emisiones GEI tCO ₂	anual bruta de emisiones tCO ₂	de transacción por créditos %	de emisiones GEI anual neta tCO ₂
	1,6	0,0	1,6		1,6
Reducción de emisiones GEI anual neta	1,6	tCO ₂	es equivalente a	0,3	Autos y camiones livianos no utilizados

2.4. ANÁLISIS FINANCIERO

La hoja de análisis financiero contiene seis secciones: parámetros financieros, renta anual, resumen de costos/ahorros/ingresos del proyecto, viabilidad financiera, flujos de caja anuales y gráfica de flujo de caja acumulado. Permite tomar decisiones del proyecto al considerar varios parámetros financieros como tasa de descuento, tasa de endeudamiento, y los elementos calculados en los resultados de viabilidad financiera (por ejemplo, TIR, recuperación simple, VPN). [6]

En las figuras 12 y 13 se presentan los parámetros financieros requeridos y el resumen de costos/ahorros/ingresos del proyecto.

Figura 12. Parámetros financieros requeridos.

Parámetros financieros			
General			
Tasa escalamiento de combustibles	%		4,0%
Tasa de inflación	%		8,1%
Tasa de descuento	%		
Tiempo de vida del proyecto	año		25

Figura 13. Resumen de costos/ahorros/ingresos.

Resumen de costos/ahorros/ingresos del proyecto			
Costos iniciales			
Sistema eléctrico de potencia	26,9%	COP	19.533.348
Balance del sistema y misc.	73,1%	COP	53.132.144
Costos iniciales totales	100,0%	COP	72.665.491
Costos anuales/pagos de deuda			
Operación y Mantenimiento		COP	20.000
Costo de combustible - caso propuesto		COP	0
Costos anuales totales		COP	20.000
Costos periódicos (créditos)			
Baterías - 7 años		COP	13.659.750
Ahorros y renta anuales			
Costo de combustible - caso base		COP	3.937.993
Total renta y ahorros anuales		COP	3.937.993

RETSscreen presenta los resultados de viabilidad financiera como se observan en la Figura 14.

Figura 14. Viabilidad financiera.

Viabilidad financiera		
TIR antes de impuestos - capital	%	-5,7%
TIR antes - impuestos - activos	%	-5,7%
TIR luego de impuestos - capital	%	-5,7%
TIR luego de impuestos - impuestos - activos	%	-5,7%
Pago simple de retorno del capital	año	18,5
Repago - capital	año	> proyecto
Valor Presente Neto (VPN)	COP	-38.025.472
Ahorros anuales en ciclo de vida	COP/año	-1.521.019
Relación Beneficio-Costo		0,48
Costo de reducción de GEI	COP/tCO2	927.670

2.5. ANÁLISIS DE RIESGOS

RETScreen proporciona una hoja de análisis de sensibilidad y riesgo para arrojar los indicadores financieros importantes en relación con los parámetros técnicos y financieros claves. Esta hoja de cálculo contiene una sección de configuración y dos secciones principales: Análisis de sensibilidad y análisis de riesgos. Cada sección brinda información sobre la relación entre los parámetros clave y los indicadores financieros importantes. Los datos ingresados en esta hoja de cálculo no afectan los resultados de otras hojas. [6]

2.6. COMPARACIÓN CON OTROS PROGRAMAS

Para ver la potencialidad de RETScreen en el campo de las energías renovables se comparará con tres herramientas utilizadas en el estudio de proyectos de energía limpia, HOMER, IKARUS e INVERT. Sus generalidades, fortalezas y debilidades frente a RETScreen se describen a continuación.

- **HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources):** Desarrollado en 1992 por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable en Estados Unidos y se puede descargar una versión de prueba por 30 días. Se utiliza para el diseño y análisis de sistemas de potencia híbridos, que contienen una mezcla de generadores convencionales, cogeneración, turbinas eólicas, energía solar fotovoltaica, energía hidroeléctrica, baterías, pilas de combustible, biomasa y otros insumos. La herramienta puede analizar cualquier sistema aislado o conectado a la red y también puede realizar cálculos de gases de efecto invernadero para las medidas en estudio.

HOMER permite al usuario introducir un perfil de consumo de energía por hora y que coincida con la generación de energía renovable a la carga requerida. Esto permite al usuario analizar el potencial de las microrredes, permite la minimización de los costos y la optimización de escenarios basados en diversos factores como la reducción de emisiones. Considera un periodo de tiempo de 1 año utilizando un tiempo mínimo de paso de 1 minuto. [7]

Fortalezas:

- Encuentra el diseño más óptimo y económico de sistemas de potencia híbridos.
- Permite introducir perfiles de carga, teniendo en cuenta el índice de crecimiento de la demanda y la energía máxima consumida.
- Permite la optimización en costos, y calcula emisiones de gases e impacto de fuentes renovables en el sistema de potencia.

Debilidades:

- No realiza estudios a largo plazo, siendo el periodo máximo de análisis 1 año.
- No determina la viabilidad financiera del proyecto.
- No simula todas las fuentes de generación de energías renovables y térmicas.
- La versión completa del programa oscila entre US\$1500 – 4000.

- **IKARUS:** Es una herramienta de optimización de costos utilizada para sistemas nacionales de energía. Está descontinuada comercialmente. Existen versiones antiguas disponibles por €250. Desarrollado por el Instituto de Investigación de Energías del Centro de Investigación Jülich en Alemania.

Utiliza un paso de tiempo de 5 años y puede simular un marco de tiempo de hasta 40 años (Generalmente hasta 2050). No tiene en cuenta los cambios futuros en cada paso de tiempo durante la optimización para proporcionar un carácter realista de pronóstico y proyección. Pueden analizarse aspectos como reacción a los cambios bruscos, flexibilidad de hipótesis técnicas, pérdida de oportunidades, entre otros.

El objetivo principal es reducir los costos totales del sistema, pero en segundo plano se manejan reducciones de emisiones. Simula todos los sectores del sistema de energía y casi toda la generación, almacenamiento, conversión y tecnologías de transporte. Las únicas tecnologías no consideradas son almacenamiento de energía por aire comprimido, mareas y baterías inteligentes de vehículos eléctricos. [5]

Fortalezas:

- Determina la viabilidad económica de los interconectados de energía y optimiza sus costos.
- Simula un marco de tiempo hasta 2050 con pasos de 5 años.
- Maneja casi todas las fuentes de generación de energía, sistemas de almacenamiento y métodos de transporte.
- Permite analizar la reducción de emisiones.
- Tiene en cuenta aspectos como cambios bruscos del mercado.

Debilidades:

- No está disponible comercialmente y versiones anteriores tienen un valor de €250.
- Imposibilita hacer cambios futuros en cada paso de tiempo.
- No estudia la factibilidad financiera de implementar cambios en el sistema.
- **INVERT:** La herramienta Invert está diseñada con el fin de simular eficientemente esquemas de energías renovables. Fue desarrollado por el Grupo Económico de Energía (EEG) de la Universidad Tecnológica de Viena en 2003 (Regularmente agregan nuevas características) y la versión actual se puede descargar gratuitamente.

Se utiliza principalmente para simular sistemas de energía. La simulación se puede ejecutar hasta por un periodo de 25 años, con un paso de tiempo de 1 año y maneja todos los sectores del sistema energético.

Simula el transporte de biocombustibles, la generación térmica y la generación de energía renovable, excepto la mareomotriz y excluye la energía nuclear. No simula ninguna tecnología de conversión ni almacenamiento, se centra específicamente en el sector térmico a través del análisis del uso de bombas de calor, energía solar térmica, sistemas convencionales de calefacción, entre otros.

El objetivo central es evaluar los efectos de los diferentes esquemas de protección, costos (Excepto la manipulación de combustibles y costos variables O&M) y las tarifas de alimentación, subsidios, créditos blandos se pueden definir en la herramienta. [5]

Fortalezas:

- Es posible descargarlo de forma gratuita desde internet.
- Analiza sistemas nacionales de energía.

- Se centra en el estudio de fuentes de generación térmicas como bombas de calor y energía solar térmica.
- Evalúa la viabilidad económica teniendo en cuenta costos iniciales, subsidios, créditos blandos, entre otros.
- Ejecuta la simulación por un periodo de 25 años con pasos de tiempo de 1 año.

Debilidades:

- No tiene en cuenta costos de O&M ni de combustibles.
- No permite hacer comparaciones económicas entre los sistemas actualmente instalados y futuros cambios.

RETScreen es útil para analizar la viabilidad financiera de realizar proyectos de energía en donde se conozcan todas las variables asociadas. El software puede resultar potencialmente útil para determinar reducciones de emisiones de gases y posibles beneficios económicos que esto conlleve. Finalmente, puede resultar muy útil su uso para analizar beneficios económicos producto de condonaciones de deuda y exenciones de impuestos.

Comparando de forma general RETScreen con los tres programas descritos anteriormente, se pueden determinar las siguientes ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Permite realizar estudios de viabilidad financiera para implementar fuentes de generación de energía no convencionales.
- Es un programa gratuito, por lo cual, cualquier persona lo puede usar.
- Estima reducciones de emisiones de gases y posibles beneficios económicos.
- Estudia la rentabilidad económica de proyectos de generación de energía eléctrica y térmica, incluyendo cogeneración.

Desventajas:

- No realiza estudios técnicos de proyectos de energía.
- No analiza la rentabilidad económica de integración de fuentes de generación.
- No permite integrar al estudio económico datos de los sistemas de transporte de energía.
- Su base de datos se encuentra desactualizada.

3. DIMENSIONAMIENTO SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

Cuando se dimensiona un sistema de iluminación el primer paso es seleccionar el tipo de luminaria a utilizar, dependiendo del área de trabajo se pueden escoger tecnologías de iluminación como fluorescente, incandescente, alta presión de mercurio, vapor de sodio, LED, entre otras. Tan pronto es seleccionada la tecnología de iluminación lo siguiente es dimensionar la distribución de luminarias que permitan satisfacer los luxes requeridos; estos valores pueden ser los establecidos en la normativa o a criterios del diseñador. A partir de las cantidades resultantes, se cotizan los costos iniciales del sistema de iluminación.

Para el caso de estudio seleccionado se dimensionan dos sistemas de iluminación utilizando luminarias fluorescentes y LED, respectivamente. El propósito es obtener los datos técnicos y económicos de ambos sistemas.

En la Sección 3.1 se habla acerca de DIALux, este programa sirve como herramienta de apoyo para el diseño de sistemas de iluminación. En la Sección 3.2 se dimensiona la distribución lumínica del sistema fluorescente y los costos del mismo. En la Sección 3.3 se diseña el sistema LED incluyendo costos de inversión inicial y mantenimiento. Los resultados obtenidos en este capítulo, se utilizan en el Capítulo 4.

3.1. DIALUX

Existen diversas opciones para dimensionar sistemas de iluminación. Una de ellas es pedir asesoría técnica a fabricantes y proveedores, como por ejemplo, el servicio técnico ofrecido por Philips, sin embargo, esto llevaría a instalar las

luminarias ofrecidas en dicha asesoría, lo cual sería depender de una única propuesta. La opción a usar en este capítulo es utilizar el software gratuito DIALux 4.12.

Esta herramienta permite diseñar proyectos de iluminación profesionales. Ofrece la facilidad de importar planos arquitectónicos de AutoCAD, además se pueden modificar las condiciones físicas de la edificación como lo son colores de paredes, ubicación de puertas y ventanas, importación de mobiliarios. Ofrece una gran variedad de catálogos de luminarias proporcionados por los principales fabricantes de artefactos de iluminación a nivel mundial. Los resultados arrojados en la simulación corresponden a la cantidad mínima, media y máxima de luxes en la edificación, así como la distribución lumínica en los espacios simulados y el valor de eficiencia energética.

3.2. SISTEMA FLUORESCENTE

Las luminarias están instaladas a 2,8 metros de altura, además se agregan elementos mobiliarios como neveras, sillas, plantas, uriniales, lavamanos, entre otros, con el fin de tener mayor exactitud en los resultados.

Para la selección de las lámparas a utilizar se tomaron catálogos de distintos fabricantes y se compararon con la base de datos que proporciona DIALux 4.12.

Las luminarias propuestas se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Luminarias propuestas – Sistema Fluorescente.

LUMINARIA	POTENCIA [W]	FLUJO LUMINOSO [lm]	TENSIÓN OPERACIÓN [V]	EFICIENCIA [lm/W]	VIDA PROMEDIO [h]
PHILIPS FBH024 2xPL-C/4P26W HF FRG	54	3600	100-127	67	10000
PHILIPS FGW251 2xPL-C/4P26W HF	54	3600	100-127	67	8000

Fuente: Catálogo de luminarias PHILIPS.

A partir de esta información, se dibuja cada zona en DIALux y con los datos de las luminarias propuestas, se dimensiona la distribución de luminarias para cumplir con los criterios establecidos en RETILAP. En la Tabla 2 se presentan los valores establecidos en la normativa.

Tabla 2. Valores establecidos de luxes - RETILAP [8].

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	UGR _L	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
		Mínimo.	Medio	Máximo
Áreas generales en las edificaciones				
Áreas de circulación, corredores	28	50	100	150
Escaleras, escaleras mecánicas	25	100	150	200
Vestidores, baños.	25	100	150	200
Almacenes, bodegas.	25	100	150	200

En zonas como cafeterías el nivel de iluminación no está reglamentado, es decisión del diseñador trabajar con los valores que considere adecuados. En este caso, se van a estimar 200 luxes medios en la cafetería debido a la gran luminosidad requerida.

El criterio de selección es cumplir con el nivel de iluminación medio en cada zona, como lo indica la norma o según la decisión de diseño. En anexos se muestran los resultados luminotécnicos de cada zona (Ver Anexo A). De las figuras 15 a 22 se presentan las distribuciones de luminarias por zona.

Figura 15. Hall recepción – Sistema Fluorescente

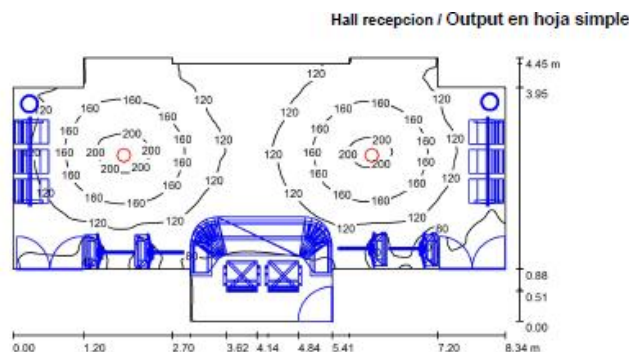


Figura 16. Corredores primer piso – Sistema Fluorescente

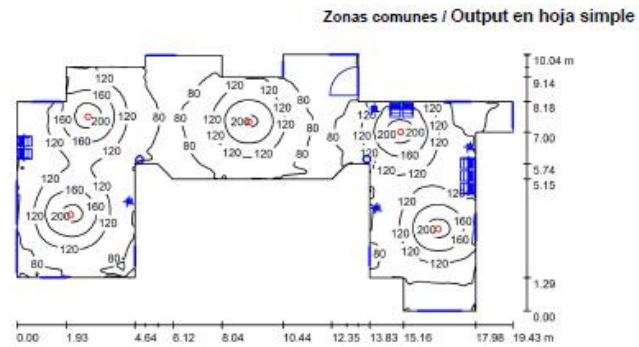


Figura 17. Corredores segundo piso – Sistema Fluorescente.

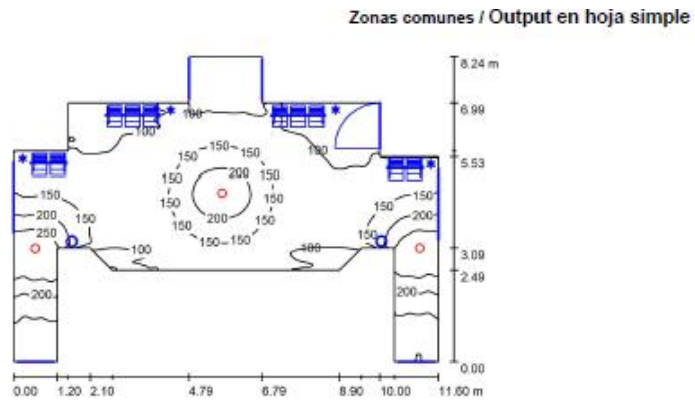


Figura 18. Corredores sexto piso – Sistema Fluorescente.

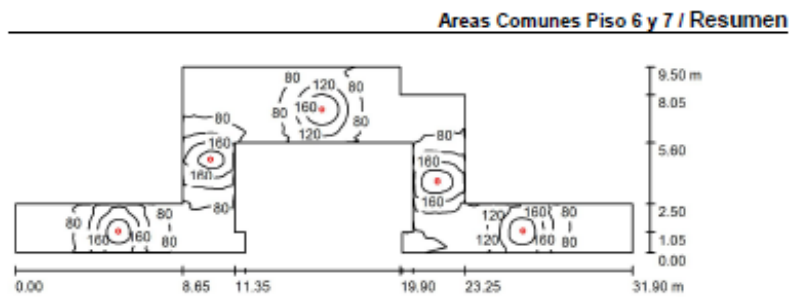


Figura 19. Baño hombres – Sistema Fluorescente.

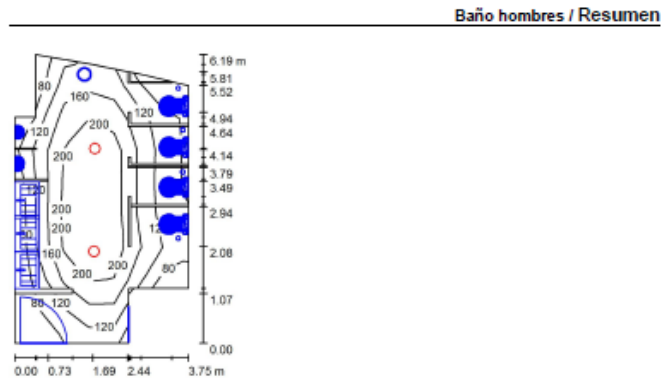


Figura 20. Baño mujeres – Sistema Fluorescente.

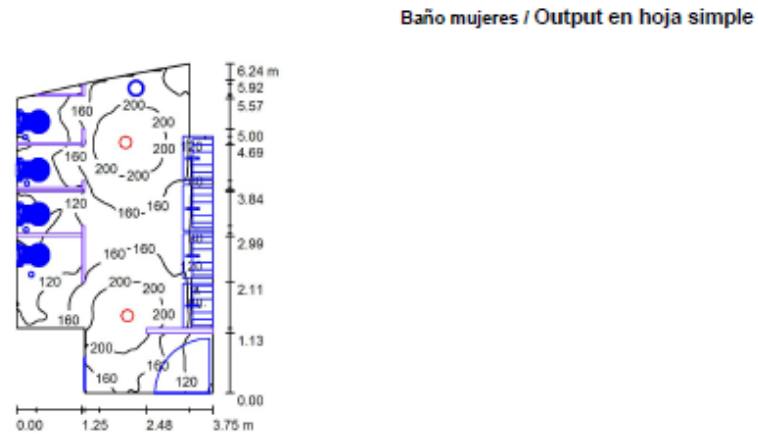


Figura 21. Escaleras – Sistema Fluorescente.

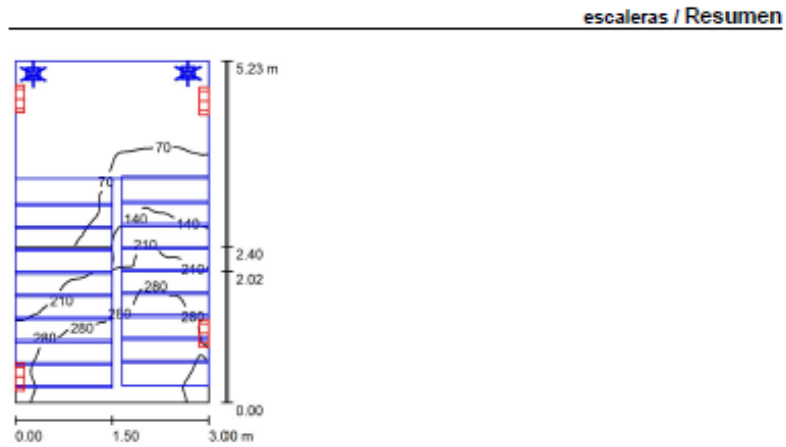
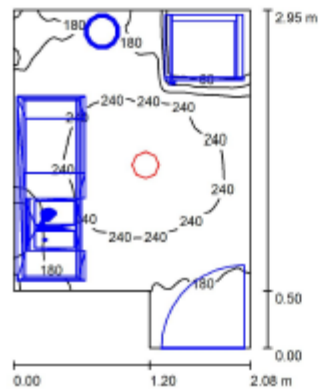


Figura 22. Cafetería – Sistema Fluorescente.



En la Tabla 3 se comparan los niveles de iluminación medios obtenidos en las simulaciones con respecto a lo establecido en norma.

Tabla 3. Nivel de iluminación medio - Sistema Fluorescente.

ZONA	LUXES MEDIOS RETILAP [lx]	LUXES MEDIOS SIMULACIÓN [lx]
HALL RECEPCIÓN	100	121
CORREDORES PRIMER PISO	100	111
CORREDORES SEGUNDO PISO	100	137
CORREDORES SEXTO PISO	100	101
BAÑO HOMBRES	150	150
BAÑO MUJERES	150	150
ESCALERAS	150	154
CAFETERÍA	200	194

Los valores obtenidos de simulación se encuentran en el rango admisible de la norma, por consiguiente, la distribución de luminarias propuesta por zona es aceptada.

Los perfiles de uso diario en cada área a estudiar fueron suministrados por los propietarios y se observan en la Tabla 4.

Tabla 4. Perfiles de uso.

ZONA	HORAS DEL DÍA																							
	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
HALL RECEPCIÓN																								
CORREDORES PRIMER PISO																								
CORREDORES SEGUNDO PISO																								
CORREDORES SEXTO PISO																								
BAÑO HOMBRES																								
BAÑO MUJERES																								
ESCALERAS																								
CAFETERÍA																								

Encendido.

Apagado.

En la Tabla 5 se presentan las cantidades de lámparas a utilizar en cada zona, así como las veces que se repite el área y el consumo de potencia total.

Tabla 5. Cantidades de luminarias fluorescentes.

ZONA	VECES REPETIDA	PHILIPS FBH024 2xPL-C/4P26W HF FRG	PHILIPS FGW251 2xPL-C/4P26W HF	CONSUMO [kWh/DIA]
HALL RECEPCIÓN	1	2	0	1512
CORREDORES PRIMER PISO	1	5	0	4050
CORREDORES SEGUNDO PISO	4	12	0	9720
CORREDORES SEXTO PISO	2	10	0	8100
BAÑO HOMBRES	7	14	0	10584
BAÑO MUJERES	7	14	0	10584
ESCALERAS	6	0	24	15552
CAFETERÍA	1	1	0	378
TOTAL LUMINARIAS		58	24	60480
POTENCIA [W]		3132	1296	

Las escaleras tienen una potencia total instalada de 1296 W y el resto de zonas es de 3132 W. Las luminarias a utilizar son 82 unidades. Estos valores son los datos técnicos del caso base en el módulo Mediciones de Eficiencia Energética del programa RETScreen 4.

El valor de instalación de cada luminaria es \$20.734 COP [9]. Los costos asociados al sistema fluorescente se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Costos sistema fluorescente.

DESCRIPCIÓN	UM	PRECIO	CANTIDADES	PRECIO TOTAL
PHILIPS FBH024 2xPL-C/4P26W HF FRG	un	\$ 95.120,00	58	\$ 5.516.960,00
PHILIPS FGW251 2xPL-C/4P26W HF	un	\$ 75.980,00	24	\$ 1.823.520,00
COSTO INSTALACIÓN	un	\$ 20.734,00	82	\$ 1.700.188,00
COSTO MANTENIMIENTO ANUAL	un	\$ 26.169,00	82	\$ 2.145.858,00

El costo anual de mantenimiento por cada luminaria es \$26.169 COP. En promedio, cada 2 años se debe hacer cambio de bombillas.

Todo lo descrito en esta sección se utiliza como información del caso base en el módulo Mediciones de Eficiencia Energética de RETScreen 4.

3.3. SISTEMA LED

La selección de las lámparas a usar se hizo comparando los catálogos actualmente disponibles con la base de datos que ofrece DIALux. Los datos de las luminarias utilizadas se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Luminarias seleccionadas – Sistema LED.

LUMINARIA	POTENCIA [W]	FLUJO LUMINOSO [lm]	TENSIÓN OPERACIÓN [V]	EFICIENCIA [lm/W]	VIDA PROMEDIO [h]
PHILIPS CORELINE PANEL LED 840 UNIV 42W	42	3400	100-240	81	40000
SYLVANIA LED SYL LIGHTER 15W	15	1182	100-240	79	30000
SYLVANIA LED SYL LIGHTER 21W	21	1750	100-240	83	30000

Fuente: Catálogos de luminarias SYLVANIA – PHILIPS.

El criterio para seleccionar la distribución de luminarias del sistema LED está basado en satisfacer los niveles de iluminación medios establecidos en norma, o en tal caso, los valores seleccionados por el diseñador. Como en la Sección 3.1, se estiman 200 luxes medios en la cafetería. En anexos se presentan los resultados luminotécnicos de cada área (Ver Anexo B). De las figuras 23 a 30 se muestran las disposiciones de lámparas por área.

Figura 23. Hall recepción – Iluminación LED.

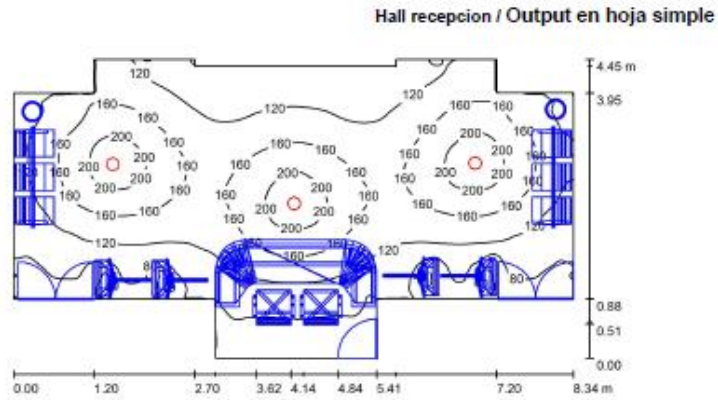


Figura 24. Corredores primer piso – Iluminación LED.

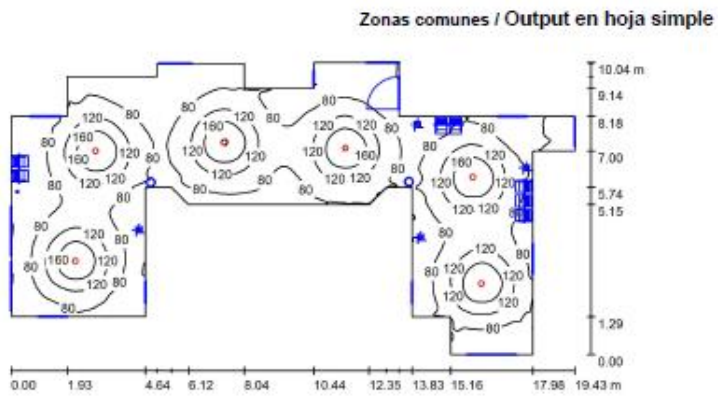


Figura 25. Corredores segundo piso – Iluminación LED.

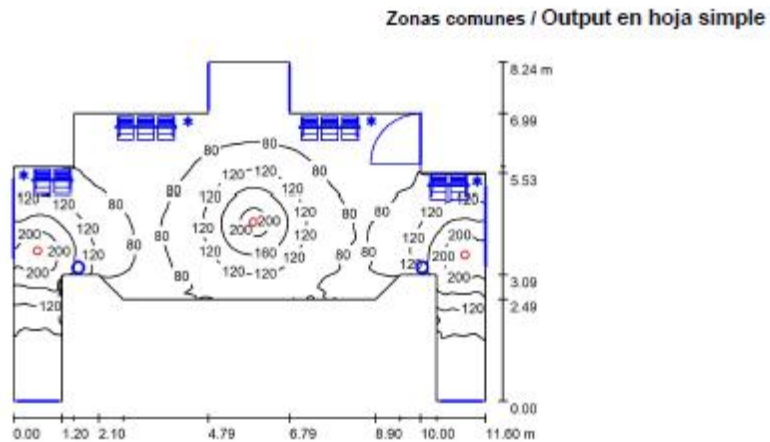


Figura 26. Corredores sexto piso – Iluminación LED.

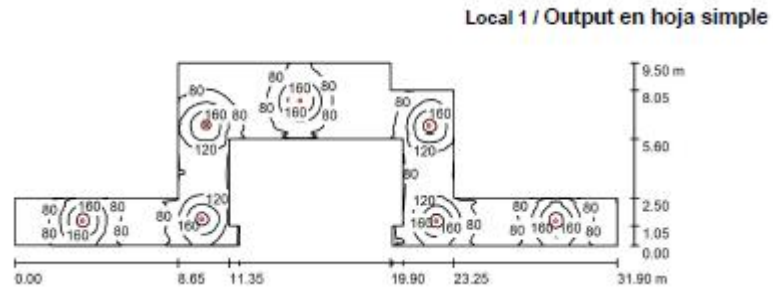


Figura 27. Baño hombres – Iluminación LED.

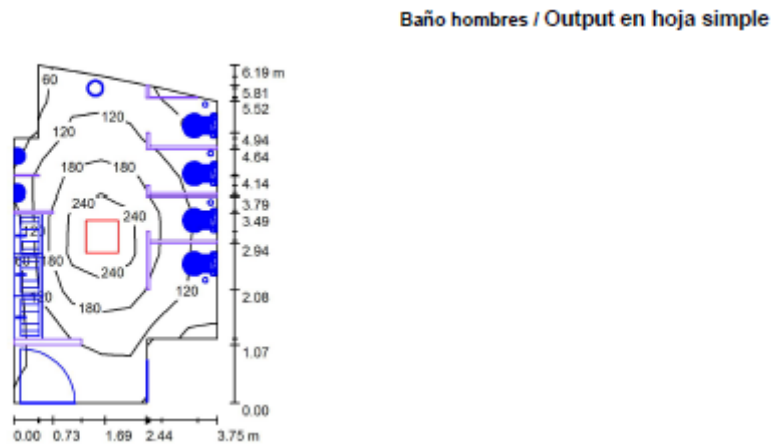


Figura 28. Baño mujeres – Iluminación LED.

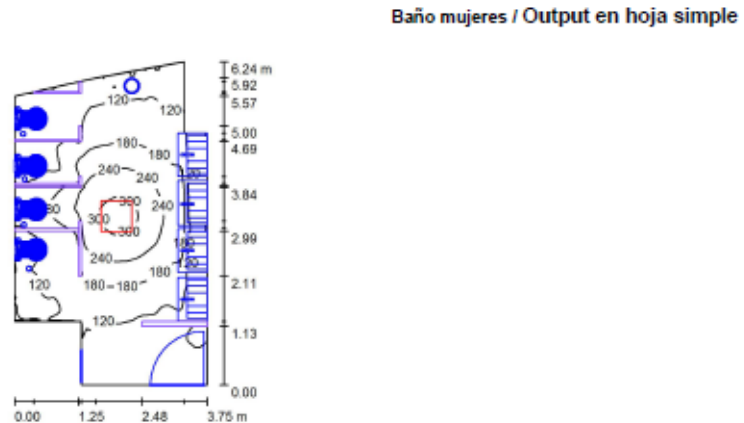


Figura 29. Escaleras – Iluminación LED.

escaleras / Output en hoja simple

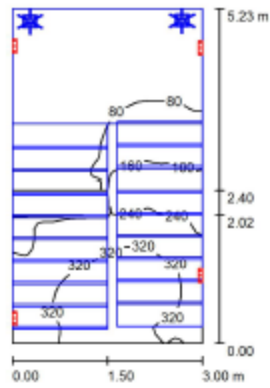
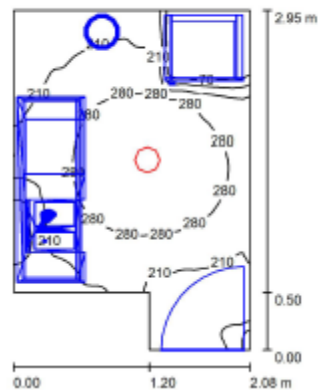


Figura 30. Cafetería – Iluminación LED.

Cafetería / Output en hoja simple



En la Tabla 8 se visualizan los resultados de las simulaciones y los valores contemplados en la normativa.

Tabla 8. Nivel de iluminación medio - Sistema LED.

ZONA	LUXES MEDIOS RETILAP [lx]	LUXES MEDIOS SIMULACIÓN [lx]
HALL RECEPCIÓN	100	131
CORREDORES PRIMER PISO	100	96
CORREDORES SEGUNDO PISO	100	99
CORREDORES SEXTO PISO	100	102
BAÑO HOMBRES	150	142
BAÑO MUJERES	150	149
ESCALERAS	150	168
CAFETERÍA	200	220

Todas las zonas se encuentran en el rango establecido, por ello, se adoptan los resultados simulados. Las cantidades de luminarias a utilizar y la potencia consumida se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Cantidades luminarias LED.

ZONA	VECES REPETIDA	PHILIPS CORELINE PANEL LED 840 UNIV 42 W	SYLVANIA LED SYL LIGHTER 15 W	SYLVANIA LED SYL LIGHTER 21 W	CONSUMO [kWh/DIA]
HALL RECEPCIÓN	1	0	3	0	630
CORREDORES PRIMER PISO	1	0	6	0	1350
CORREDORES SEGUNDO PISO	4	0	12	0	2700
CORREDORES SEXTO PISO	2	0	14	0	3150
BAÑO HOMBRES	7	7	0	0	4018
BAÑO MUJERES	7	7	0	0	4018
ESCALERAS	6	0	0	24	6048
CAFETERÍA	1	0	0	1	147
TOTAL LUMINARIAS		14	35	25	22061
POTENCIA [W]		588	525	525	

La potencia total instalada es de 1638 W. Los dispositivos se redujeron a 74 unidades. El perfil de uso de cada área es idéntico al descrito en la Tabla 4. Esta

información se usa como datos del caso propuesto en el módulo Mediciones de eficiencia energética de RETScreen 4.

Los costos del sistema LED se visualizan en la Tabla 10.

Tabla 10. Cotizaciones luminarias LED.

DESCRIPCIÓN	UM	PRECIO	CANTIDADES	PRECIO TOTAL
SYLVANIA LED SYL LIGHTER 15 W	un	\$ 97.999,00	35	\$ 3.429.965
SYLVANIA LED SYL LIGHTER 21 W	un	\$ 131.000,00	25	\$ 3.275.000
PHILIPS CORELINE PANEL LED 840 UNIV 42 W	un	\$ 205.000,00	14	\$ 2.870.000
COSTO INSTALACIÓN	un	\$ 20.734,00	74	\$ 1.534.316,00
COSTO MANTENIMIENTO ANUAL	un	\$ 23.628,00	74	\$ 1.748.472,00

El costo de mantenimiento anual del sistema LED se redujo en \$397.386 COP con respecto del sistema fluorescente. Comparando la vida útil de los dispositivos frente a los perfiles de uso, se observa que las luminarias deben ser remplazadas al séptimo año de uso. A partir de estos valores monetarios RETScreen en el módulo Mediciones de eficiencia energética realiza el análisis financiero.

4. ARREGLOS FOTOVOLTAICOS

Para el diseño de sistemas fotovoltaicos es importante en primera instancia conocer el recurso solar y la carga que se desea alimentar, con estos datos se puede elegir correctamente un inversor que logre abastecer la misma, luego de esto, se procede con el dimensionamiento del sistema de recolección de energía (paneles solares) habiendo seleccionado previamente la tensión DC del sistema, seguidamente se dimensiona el sistema de almacenamiento. Una vez conocidas las cantidades de elementos a instalar se cotizan los costos iniciales.

En este capítulo se diseñan los sistemas fotovoltaicos que son propuestos para alimentar las cargas calculadas en el Capítulo 3. Los arreglos deben tener la capacidad de alimentar las cargas de las luminarias durante su uso diario. De esta manera, se puede cuantificar el monto a invertir a instalar un sistema de energía autónomo, con esto se logra analizar de mejor manera la viabilidad de la implementación de los sistemas fotovoltaicos.

En la Sección 4.1 se habla acerca de las posibles formas de diseñar sistemas fotovoltaicos. En la Sección 4.2 se dimensionan los sistemas fotovoltaicos para abastecer las cargas de iluminación.

4.1. METODOLOGÍA

Existen múltiples opciones para llevar a cabo el diseño de sistemas fotovoltaicos. Es posible usar softwares como HOMER, el cual se encarga de buscar la forma más económica de abastecer una carga con una o más alternativas de generación de energía, o PVSyst, que hace análisis técnico y financiero de este tipo de

proyectos. La desventaja de estas opciones es que acarrearán costos relacionados con las licencias de uso. Por ello se opta por usar una metodología manual y gratuita aprendida en la asignatura ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE [3] [4].

Este curso fue orientado por el profesor Cesar Yobani Acevedo Arenas, y estuvo enfocado al diseño de distintas formas de generar energía eléctrica, para este caso, los sistemas fotovoltaicos serán dimensionados teniendo en cuenta la demanda energética de la carga y el recurso solar de la zona en la que se realizara el proyecto.

4.2. DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

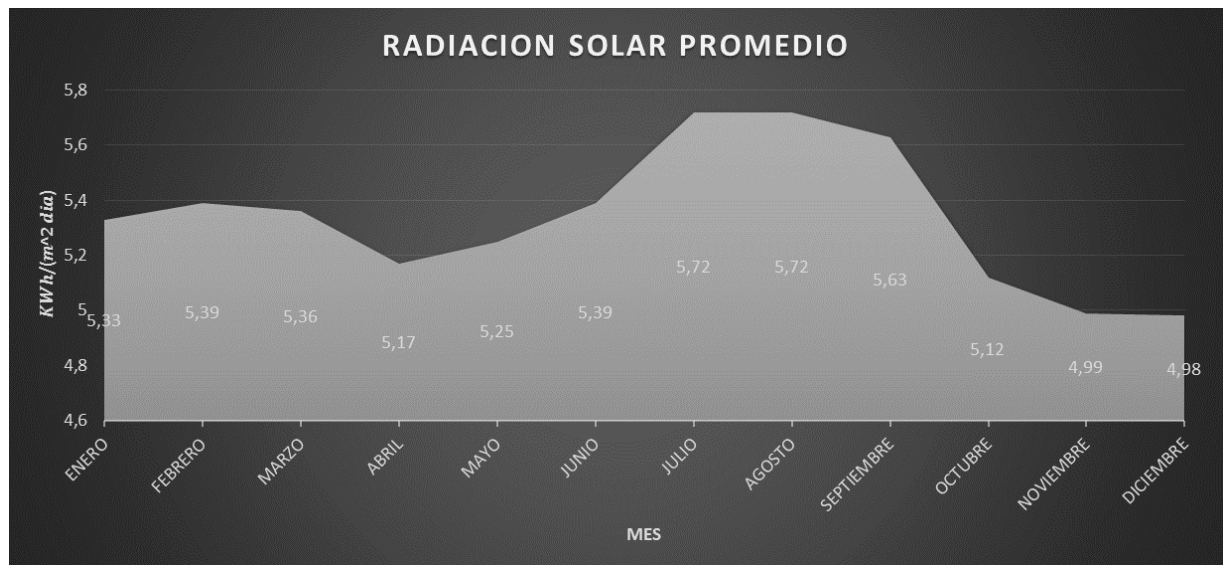
En esta sección se muestra el método usado para el diseño de sistemas fotovoltaicos, propuesto en el curso de Energía y Medio ambiente del profesor Cesar Yobani Acevedo Arenas, y a la vez se cotizarán los costos asociados a los elementos necesarios para suplir cada carga con energía solar fotovoltaica.

4.2.1. Recurso solar. Uno de los datos más importantes para el diseño de cualquier sistema fotovoltaico es la radiación solar promedio de la zona donde se va a instalar, es importante resaltar que los datos históricos de radiación promedio en la ubicación del edificio seleccionado son desconocidos, y se aproximan a los datos de la estación meteorológica más cercana (Piedecuesta-Santander-Colombia), estos valores se muestran en la Figura 31.

El promedio de radiación solar se usa para calcular las horas pico sol de este sector geográfico. Al promediar los datos históricos arrojados por el software se obtiene un valor de $5,34 \frac{kWh}{m^2 \text{ día}}$. Las horas pico sol se definen como la cantidad de

horas al día en las que se tiene una radiación de $1 \frac{kW}{m^2}$, y se calculan haciendo el cociente entre el valor de radiación promedio, y el valor nominal de radiación.

Figura 31. Valores de radiación promedio 2012.



Fuente: Tomado del software RETScreen4

$$horas\ pico\ sol = \frac{5,34 \left[\frac{kWh}{m^2\ dia} \right]}{1 \left[\frac{kW}{m^2} \right]} = 5,34 \left[\frac{h}{dia} \right]$$

4.2.2. Selección del inversor. La potencia del sistema fluorescente y LED es 4428 y 1638 W, respectivamente, en los perfiles de uso suministrados por los propietarios se evidencian que en ciertos momentos del día se utilizan la totalidad de las lámparas, debido a esto, se hace necesario seleccionar un inversor que soporte la potencia instalada, si la carga llega a ser muy grande se puede optar por dividirla, y diseñar sistemas fotovoltaicos de menor envergadura.

En la Tabla 11 se observan especificaciones de potencia y precios de inversores DC/AC que podrían ser utilizados para alimentar la carga total o parcial, en caso de ser dividida.

Tabla 11. Cotizaciones de inversores.

	MARCA FHOENIX	POTENCIAS	PRECIO SIN IVA	CON IVA
EMPRESA	GREEN ENERGY	3000W/24DC-120AC	\$ 5.492.781,00	\$ 6.371.625,96
	ERGEA S.A.S	3000W/24DC-120AC	\$ 7.120.300,00	\$ 8.259.548,00
	MARCA GELA GS			
EMPRESA	GREEN ENERGY	2400W/24DC-220AC	\$ 1.480.160,00	\$ 1.716.985,60
	MARCA FHOENIX			
EMPRESA	SENERGY SOL	2000W/24DC-220AC	\$ 7.308.000,00	\$ 8.477.280,00
	MARCA SOLECTRIA			
EMPRESA	SENERGY SOL	2000W/24DC-220AC	\$ 4.782.000,00	\$ 5.547.120,00

Fuente: Trabajo de grado “Dimensionamiento de un sistema autónomo para bombeo de agua utilizando generadores fotovoltaicos”.

Debido a que la carga fluorescente supera la capacidad de los inversores, se diseñarán dos sistemas fotovoltaicos independientes que pueden abastecer la totalidad de la misma, dentro del primer sistema se incluyen los baños del edificio y los corredores de los pisos 6 y 7 (2052W), en el segundo se incluirán las cargas restantes (2376W).

La tensión del sistema fotovoltaico es 24 VDC y la tensión de operación de las luminarias es 120 VAC, por ende sólo los dos primeros inversores cumplen con las condiciones necesarias de tensión y potencia, debido a su economía se selecciona la primera referencia (FHOENIX-GREEN ENERGY 3000W). Sus especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Especificaciones técnicas inversor FHOENIX-GREEN ENERGY 3000W [3].

MODELO	FHOENIX GREEN ENERGY
ENTRADA	
Vin DC	24 VDC
Rango de voltaje	23-31 VDC
Eficiencia	93%
SALIDA	
Vout AC	120 VAC
Forma de onda	Sinoidal pura

Fuente: Ficha técnica Inversor FHOENIX-GREEN ENERGY 3000W

4.2.3. Selección del panel. En esta sección se hace la selección del panel comparando desde la parte económica tres posibles opciones (Ver Anexo C). Estos paneles fueron cotizados en el trabajo de grado “DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA AUTONOMO PARA EL BOMBEO DE AGUA UTILIZANDO GENERADORES FOTOVOLTAICOS” [3].

Se calcula la energía diaria a recolectar teniendo en cuenta la potencia de cada carga, recordando que se usarán dos sistemas independientes, de este modo se calcularán las demandas de energía D1, D2 y D3, de los dos sub-sistemas fluorescentes y del sistema LED, respectivamente con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{P}{n} * \frac{\text{horas}}{\text{dia}} = \text{energia} \left[\frac{Wh}{\text{dia}} \right]$$

Dónde:

D: Demanda de energía a recolectar.

P: Potencia de la carga.

n: Rendimiento del inversor.

h: Número de horas en las que está presente la carga.

De ese modo se calcula la demanda energética de los dos sistemas.

$$D1 = \frac{1512w}{0,93} * \frac{14horas}{dia} + \frac{540w}{0,93} * \frac{15horas}{dia} = 21168 \left[\frac{wh}{dia} \right] + 8100 \left[\frac{wh}{dia} \right]$$

$$= 31470,96 \left[\frac{wh}{dia} \right]$$

$$D2 = \frac{108w * 14h}{0,93 * dia} + \frac{270w * 14h}{0,93 * dia} + \frac{648w * 15h}{0,93 * dia} + \frac{1296 * 12h}{0,93 * dia} + \frac{54 * 7h}{0,93 * dia}$$

$$= 33561,29 \left[\frac{wh}{dia} \right]$$

$$D3 = 23721,5 \left[\frac{wh}{dia} \right]$$

Para calcular la cantidad de paneles es necesario realizar los siguientes pasos:

- Cálculo de la corriente diaria

$$Idiaria \left[\frac{Ah}{dia} \right] = \frac{D \left[\frac{wh}{dia} \right]}{VDCsistema [V]}$$

- Corriente que aporta el arreglo fotovoltaico [Ia]

$$Ia[A] = \frac{Idiaria \left[\frac{Ah}{dia} \right]}{Horas Pico sol \left[\frac{h}{dia} \right]}$$

- Cálculo de paneles en paralelo:

$$\#paneles = \frac{Ia}{Ipanel *}$$

- Cálculo de paneles en serie:

$$\#paneles = \frac{VDCsistema *}{Vpanel *}$$

*VDCsistema: 24[V]; Datos del panel seleccionado: Ipanel: 8,43 [A], Vpanel: 37,4 [V].

Después de comparar los sistemas diseñados (Anexo C) se determina el uso de los paneles CANADIAN SOLAR CS6P 255W, los datos de este panel y la comparación de costos se muestran en las tablas 13 y 14, respectivamente.

Tabla 13. Datos del panel seleccionado.

CANADIAN SOLAR CS6P-255P	
Potencia Máxima Pm [W]	255
Voltaje Máximo [V]	30,2
Corriente Máxima [A]	8,43
Voltaje de circuito abierto Voc[V]	37,4
Corriente de Corto circuito Isc [A]	9
Eficiencia del modulo	15,85%
Corriente de proteccion [A]	15

Fuente: Ficha técnica Panel Canadian solar CS6p-255p (Anexo D)

Tabla 14. Comparación de precios de los paneles analizados.

Costos	PANELES UPSOLAR 250p	PANELES UPSOLAR 310P	PANELES CANADIAN SOLAR
Fluorescente	\$ 55.119.524,08	\$ 65.717.554,05	\$ 51.164.370,18
LED	\$ 20.105.682,80	\$ 23.971.475,05	\$ 18.662.980,40

Fuente: Anexo C

4.2.4. Cálculo del sistema de almacenamiento. En este punto es necesario seleccionar un sistema de almacenamiento que logre suplir la carga de cada

sistema; la tensión de funcionamiento es de 24 Volts, la misma del inversor seleccionado anteriormente, para esto se han cotizado baterías de alta gama para garantizar durabilidad y descargas profundas sin afectar su rendimiento, estas baterías se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Precios de baterías comerciales.

Batería	Tension[V]	Capacidad [Ah]	Garantía	Precio sin IVA [\$COP]	Precio con IVA e importación [\$COP]
Rolls S605	12	605	2 años	\$ 2.816.189,40	\$ 4.111.636,52
Rolls S480	12	480	2 años	\$ 2.338.998,30	\$ 3.414.937,52
Rolls S290	24	290	2 años	\$ 2.950.749,90	\$ 4.308.094,85

Fuente: Catálogo Rolls Batteries

Cálculo de baterías en paralelo

$$\#baterias = \frac{Idiaria \left[\frac{Ah}{dia} \right]}{Ibateria \left[\frac{Ah}{dia} \right]}$$

Cálculo de baterías en serie

$$\#baterias = \frac{VDCsistema[V]}{Vbateria[V]}$$

En la Tabla 16 se comparan posibles sistemas de almacenamiento con las tres baterías cotizadas.

Tabla 16. Comparación de costos entre baterías.

Batería	Rolls s605	Rolls s480	Rolls s290
Sistema 1			
Baterías en paralelo	3	3	5
Baterías en serie	2	2	1
Baterías totales	6	6	5
Costo	\$ 24.669.819,12	\$ 20.489.625,12	\$ 21.540.474,25
Sistema 2			
Baterías en paralelo	3	3	5
Baterías en serie	2	2	1
Baterías totales	6	6	5
Costo	\$ 24.669.819,12	\$ 20.489.625,12	\$ 21.540.474,25
Sistema LED			
Baterías en paralelo	2	2	4
Baterías en serie	2	2	1
Baterías totales	6	4	4
Costo	\$ 16.446.546,08	\$ 13.659.750,08	\$ 17.232.379,40

Con base en las cotizaciones realizadas, se determinó usar baterías Rolls s480 para cada sistema, las especificaciones técnicas de esta batería se encuentran en el Anexo E.

4.2.5. Regulador de carga. Para garantizar una carga óptima de las baterías y ampliar su vida útil, se hace necesario usar reguladores de carga que protejan la instalación contra corto-circuitos. Estos se deben instalar entre los sistemas de almacenamiento y generación, en las tablas 17 y 18 se visualizan las características de los reguladores cotizados y la comparación de costos.

Cálculo de cantidad de reguladores

$$\#reguladores = \frac{Ia[A]}{I_{panel} * (C)[A]}$$

Donde C es la función parte entera que resulta del cociente entre la capacidad del regulador y la corriente del panel.

Tabla 17. Especificaciones y precios de reguladores de carga.

Regulador	Capacidad [A]	C	Tension [V]	Precio sin iva [cop]	Precio con iva e importacion [cop]
Blue solar 10A	10	1	12 ó 24	\$ 132.958,20	\$ 194.118,97
Blue solar 20A	20	2	12 ó 24	\$ 232.660,50	\$ 339.684,33
Blue solar 30A	30	3	12 ó 24	\$ 365.586,00	\$ 533.755,56
Steca Solarix Prs 2020	20	2	12 ó 24	\$ 261.927,00	\$ 382.413,42

Fuente: www.autosolar.es

Tabla 18. Comparación de costos.

Regulador	Blue solar 10A	Blue solar 20A	Blue solar 30A	Steca Solarix Prs 2020
Sistema 1				
Cantidad	30	15	11	15
Costo total	\$ 5.823.569,16	\$ 5.095.264,95	\$ 5.871.311,16	\$ 5.736.201,30
Sistema 2				
Cantidad	32	16	11	16
Costo total	\$ 6.211.807,10	\$ 5.434.949,28	\$ 5.871.311,16	\$ 6.118.614,72
Sistema LED				
Cantidad	22	11	8	11
Costo total	\$ 4.270.617,38	\$ 3.736.527,63	\$ 4.270.044,48	\$ 4.206.547,62

Con base en los resultados obtenidos de la comparación, y los datos técnicos de los reguladores, se descartó la opción más económica, y se determinó usar reguladores Steca Solarix Prs 2020 de 20 Amperes en todos los sistemas, las especificaciones técnicas de este regulador se encuentran en el Anexo F.

En la Tabla 19 se presentan cantidades y costos de los implementos para la alimentación de ambos sistemas de iluminación.

Tabla 19. Costos de implementos de los sistemas fotovoltaicos.

	Implemento	Cantidad	Costo [\$ COP]	Costo Total [\$ COP]
Sistema Fluorescente	Paneles	60	\$ 51.000.000,00	\$ 116.577.318,16
	Baterías	12	\$ 40.979.250,22	
	Reguladores	31	\$ 11.854.816,02	
	Inversores	2	\$ 12.743.251,92	
Sistema LED	Paneles	23	\$ 19.550.000,00	\$ 43.787.923,65
	Baterías	4	\$ 13.659.750,07	
	Reguladores	11	\$ 4.206.547,62	
	Inversores	1	\$ 6.371.625,96	

4.2.6 Días de autonomía. El sistema fotovoltaico provee energía a la carga durante un día, si las condiciones meteorológicas varían, y el recurso solar disminuye, el sistema de iluminación se ve afectado directamente, para que esto no ocurra, es posible dimensionar sistemas con más de un día de autonomía; esto se logra aumentando la capacidad de almacenamiento y recolección de energía del sistema.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO MEDIANTE RETSCREEN

Cuando se va a realizar el análisis económico para el remplazo de sistemas de iluminación o sistemas de generación de energía es importante conocer el costo de la energía eléctrica del sistema actual. Este valor se tomará como ahorro anual para el sistema propuesto. Lo siguiente es calcular la inversión inicial requerida para desarrollar el proyecto, en estos costos se incluyen precios de elementos, transporte, instalación, entre otros. También es necesario conocer costos de operación y mantenimiento y remplazos de partes. Una vez obtenida la información necesaria se procede a calcular parámetros como TIR y VPN que permite determinar la viabilidad económica del proyecto, para conocer estos parámetros es necesario consultar índices como la tasa de inflación, tiempo de vida de la inversión y la tasa de oportunidad.

En este capítulo se usa RETScreen 4 para analizar la viabilidad económica del cambio de luminarias y sustitución de la fuente de alimentación por energía fotovoltaica en instalaciones de alumbrado. Debido a que RETScreen no permite dimensionar sistemas de iluminación y de energía solar fotovoltaica, los datos a introducir al programa deben calcularse utilizando otras herramientas o métodos. Por ello, estos fueron calculados en los capítulos 3 y 4.

En la Sección 5.1 se habla acerca de RETScreen 4. En la Sección 5.2 se usa el módulo Mediciones de eficiencia energética para analizar la viabilidad económica de instalar sistemas de iluminación LED frente a sistemas fluorescentes. En las Secciones 5.3 y 5.4 se utiliza el módulo Generación de electricidad – Sistemas fotovoltaicos para estudiar la factibilidad financiera de implementar energía solar fotovoltaica para alimentar sistemas de iluminación fluorescentes y LED, respectivamente.

5.1 RETSCREEN

Para realizar el análisis financiero de proyectos de inversión, existen diferentes opciones de hacerlo. Una de ellas es realizar los cálculos de forma manual, sin embargo, este proceso resulta muy tedioso y se deben tener conocimientos avanzados de gestión de proyectos. Otras opciones posibles son utilizar programas de análisis financiero como FinAnalysis o Managerial Analyzer, pero se necesitan pagar licencias para su uso. En este capítulo se utiliza la herramienta gratuita RETScreen 4 la cual permite analizar económicamente la viabilidad de proyectos de energía.

5.2 MEDICIONES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

A continuación se analiza la viabilidad económica de instalar sistemas de iluminación LED frente a sistemas fluorescentes. Este estudio se hace usando el módulo de Mediciones de eficiencia energética del software RETScreen 4. Los sistemas de iluminación a analizar son los dimensionados en el Capítulo 3.

Para iniciar el análisis en RETScreen se selecciona el módulo de Mediciones de eficiencia energética de una instalación comercial. El idioma de trabajo es español. El tipo de método de estudio es método 2, este permite ingresar datos específicos del caso de análisis. La moneda a utilizar es el peso colombiano (COP). Finalmente, los datos meteorológicos se toman de la estación Piedecuesta por ser el lugar más cercano que proporciona el programa.

El archivo ejecutable del caso de estudio así como el instalador del programa se presentan en anexos. (Ver Anexo G, Anexo H).

5.2.1 Modelo de energía. Esta sección de RETScreen es utilizada para ingresar los datos técnicos de los sistemas de iluminación a comparar. El programa realiza el estudio entre un caso base y un caso propuesto. En este análisis el caso base es el sistema fluorescente y el caso propuesto el sistema LED. El primer dato a ingresar es el costo actual de electricidad, cuyo valor es 454,83 COP/kWh

Las zonas totales son ocho, el programa permite ingresar hasta cinco zonas para ser estudiadas en simultáneo. Para realizar el análisis se integran varias zonas que tengan iguales perfiles de uso y nivel de iluminación medio. En la Tabla 20 se presenta la distribución de zonas.

Tabla 20. Distribución de zonas.

DISTRIBUCIÓN DE ZONAS
CORREDORES PRIMER-SEGUNDO-SEXTO PISO
HALL RECEPCIÓN
ESCALERAS
BAÑO HOMBRES-MUJERES
CAFETERÍA

En cada área se deben colocar niveles de iluminación medios, eficiencia lumínica, potencia de cada luminaria, horas diarias de uso y cantidad de dispositivos utilizados. Esta información se presenta en la Tabla 21.

Tabla 21. Datos técnicos.

ZONAS	CASO BASE - ILUMINACIÓN FLUORESCENTE					CASO PROPUESTO - ILUMINACIÓN LED				
	LUXES MEDIOS [lx]	EFICIENCIA [lm/W]	POTENCIA [W]	CANT. LÁMPARAS	HORAS DE USO [h/día]	LUXES MEDIOS [lx]	EFICIENCIA [lm/W]	POTENCIA [W]	CANT. LÁMPARAS	HORAS DE USO [h/día]
CORREDORES	100	67	54	27	15	100	79	15	32	15
HALL RECEPCIÓN	100	67	54	2	14	100	79	15	3	14
ESCALERAS	150	67	54	24	13	150	83	21	24	13
BAÑOS	150	67	54	28	15	150	81	42	14	15
CAFETERÍA	200	67	54	1	7	200	83	21	1	7

5.2.2 Análisis de costos. Se introducen los costos iniciales incluyendo costos de instalación del caso propuesto así como los ahorros anuales de utilizar sistemas de iluminación LED, además se ingresan los costos periódicos productos del remplazo de luminarias. Estos gastos se calcularon en la Sección 4.3 y se introducen en el programa por cada zona. En la Tabla 22 se presentan los valores.

Tabla 22. Costos iniciales y ahorros anuales.

DISTRIBUCIÓN DE ZONAS	COSTOS INICIALES (\$ COP)	AHORROS ANUALES (\$ COP)	COSTOS PERIÓDICOS (\$ COP)
CORREDORES PRIMER-SEGUNDO-SEXTO PISO	\$ 3.799.456,00	-\$ 49.533,00	\$ 3.135.968,00
HALL RECEPCIÓN	\$ 356.199,00	-\$ 18.546,00	\$ 293.997,00
ESCALERAS	\$ 3.641.616,00	\$ 60.984,00	\$ 3.144.000,00
BAÑO HOMBRES-MUJERES	\$ 3.160.276,00	\$ 401.940,00	\$ 2.870.000,00
CAFETERÍA	\$ 151.734,00	\$ 2.541,00	\$ 131.000,00
TOTALES	\$ 11.109.281,00	\$ 397.386,00	\$ 9.574.965,00

Los costos periódicos se realizan cada 7 años. El programa calcula el consumo de energía en MWh y los costos de electricidad de cada sistema de iluminación, así

como el ahorro de dinero entre el caso propuesto y base producto del gasto de electricidad. Estos valores se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Consumo de energía y costos asociados.

	CONSUMO ENERGÍA [MWh/año]	COSTO DE ELECTRICIDAD [COP/año]
CASO BASE	23,1	\$ 10.506.628,00
CASO PROPUESTO	8,5	\$ 3.876.236,00
AHORRO	14,6	\$ 6.630.392,00

La reducción de energía eléctrica anual entre ambos sistemas oscila entre 63 y 63,2 %. Este porcentaje se refleja en la cantidad de dinero que se puede ahorrar anualmente por gasto de electricidad.

5.2.3 Análisis de emisiones. RETScreen calcula el factor de GEI (Gases de Efecto Invernadero) emitido por el SIN (Sistema Interconectado Nacional). Para ello es necesario conocer el porcentaje de pérdidas asociadas a T y D. Las pérdidas de T para los siguientes 15 años se estiman en 1,15 % [10] y la cantidad de pérdidas en redes de media y baja tensión están establecidas en 6,01 % [11]. El porcentaje total de pérdidas por T y D es 7,16 %. Utilizando este valor, el factor de GEI es 0,189 tCO₂/MWh.

Según el consumo de energía calculado, alimentar el sistema fluorescente genera 4,4 tCO₂/año y el sistema LED 1,6 tCO₂/año. La reducción sería del 63,6 %

5.2.4 Análisis financiero. Para el análisis financiero es necesario introducir parámetros como inflación, periodo de vida útil, tasa de aumento del costo de electricidad y tasa de descuento u oportunidad. La tasa de inflación actual es 8,1

% [12]; se considera una vida útil de 25 años; se estimará una tasa de aumento del costo de energía de 4 %; la tasa de oportunidad es nula.

Los costos anuales ascienden a \$3.487.850 COP, este valor resulta de los costos de electricidad del sistema LED descontados los ahorros por operación y mantenimiento. RETScreen toma como renta anual el valor de electricidad consumida por el sistema fluorescente

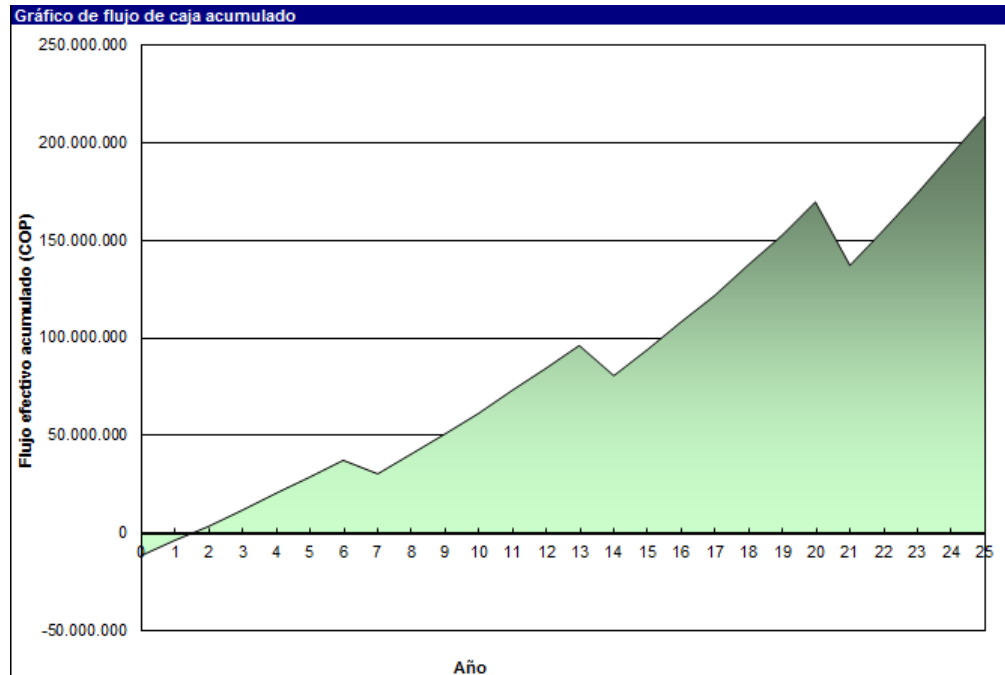
Con la información anterior RETScreen4 calcula VPN, TIR, Repago de capital, gráfico de flujo de caja acumulado. En la Tabla 24 se presentan los valores calculados de TIR, VPN y Repago de capital.

Tabla 24. Indicadores económicos

INDICADOR	RESULTADO
TIR	67,50%
VPN	\$ 213.779.938
REPAGO CAPITAL	1,5 años

Se puede observar que la TIR del proyecto es de 67,5 %, la cual es una tasa muy interesante debido a que ofrece un alto margen de ganancias. Con respecto al VPN se puede apreciar que este valor asciende a \$213.779.938 COP, esto significa que la inversión genera gran cantidad de ingresos. Además, el Repago de capital se realizaría aproximadamente en 18 meses, por ende la inversión genera beneficios económicos durante 22 años. Esto significa que el proyecto resulta muy atractivo financieramente por su gran tasa de retorno, poco tiempo de recuperación del dinero y altos ingresos. En la Figura 32 se muestra la gráfica del flujo de caja de la inversión.

Figura 32. Flujo de caja



5.3 GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA – SISTEMA FLUORESCENTE

En esta sección se usa RETScreen 4 en el módulo Generación de electricidad – Sistema fotovoltaico para analizar la viabilidad financiera de alimentar el sistema de iluminación fluorescente diseñado en la Sección 3.1 mediante energía solar fotovoltaica. En el Capítulo 4 se hizo el correspondiente dimensionamiento de este sistema de generación incluyendo los costos de los componentes.

Se va a analizar en el módulo de Generación de electricidad – Sistema fotovoltaico como un sistema fuera de red. El idioma de trabajo, datos meteorológicos, moneda y tipo de análisis son iguales a los establecidos en la Sección 5.1.

El archivo ejecutable donde se realizó este análisis se encuentra en anexos (Ver Anexos I).

5.3.1 Modelo de energía. Se introducen los datos técnicos correspondientes al sistema fotovoltaico y la red de energía. La tarifa de la red de electricidad es 454,83 COP/kWh. La demanda de energía de la red y del sistema fotovoltaico es 65,032 kWh/día. A partir de estos datos el software calcula el costo de electricidad anual el cual oscila en \$10.796.154 COP.

La tecnología de rastreo solar es de forma fija con un ángulo de inclinación de 30°. Los datos del inversor, banco de baterías y paneles solares se presentan en la Tabla 25.

Tabla 25. Elementos del arreglo fotovoltaico.

ELEMENTO	VDC [V]	P [kW]	CAP. [Ah]	EFIC. [%]	MÁX. PROF. DESC. [%]	ENER. [kWh]	EFIC. REG. [%]	TEMP. [°C]	COEF. TEMP [%/°C]
INVERSOR	24	6	.....	93	.....	....	.....	.....	.....
BATERÍAS	24	.....	2710	85	60	65	95	.....	.....
PANELES SOLARES	24	15,3	.....	15,85	.....	.....	.....	45	0,065

5.3.2 Análisis de costos. Se ingresan los costos iniciales de los elementos calculados en la Sección 5.2.5. La instalación del sistema la realizará una cuadrilla especializada 8 horas diarias durante 30 días y el costo por hora es \$122.351 COP [13]. El costo anual O&M será de \$20.000 COP, esto es porque el sistema requiere muy poco mantenimiento. Las baterías se sustituyen cada 7 años. Estos valores se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26. Costos iniciales y O&M.

COSTOS INICIALES				
ELEMENTO	UM	CANT.	COSTO UNIT. (\$ COP)	COSTO TOTAL (\$ COP)
PANELES SOLARES	kW	15,3	\$ 3.333.333,33	\$ 51.000.000,00
INVERSOR	kW	6	\$ 2.123.875,32	\$ 12.743.252,00
BATERÍAS	kWh	65	\$ 812.831,79	\$ 52.834.066,24
INSTALACIÓN	proyecto	1	\$ 29.280.000,00	\$ 29.280.000,00
COSTOS ANUALES				
ELEMENTO	UM	CANT.	COSTO UNIT. (\$ COP)	COSTO TOTAL (\$ COP)
OPERACIÓN Y MTO	proyecto	1	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
COSTOS PERIÓDICOS				
ELEMENTO	UM	AÑO	COSTO TOTAL (\$ COP)	
BATERÍAS	costos	7	\$ 40.000.000,00	

5.3.3 Análisis de emisiones. El programa calcula el ahorro de emisiones producto de utilizar energía solar fotovoltaica. Este análisis lo realiza conociendo el factor de GEI del SIN, en la Sección 5.2.3 se estimó este valor. Utilizando ese factor, se dejan de arrojar 4,5 tCO₂/año al medio ambiente.

5.3.4 Análisis financiero. El software necesita conocer parámetros como inflación, tasa de oportunidad, vida útil del proyecto y aumento de la electricidad. La tasa actual de inflación se encuentra en 8,1 %. Se estima un aumento del 4% de la tarifa de electricidad. El ciclo de vida del proyecto es de 25 años, el cual es la vida útil de los paneles solares. La tasa de oportunidad es nula.

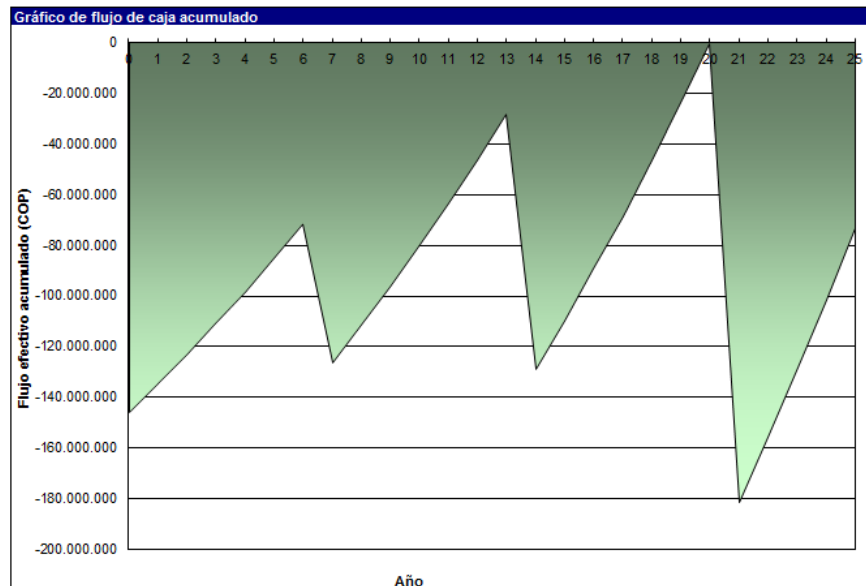
Los costos iniciales ascienden a \$145.857.318 COP y los ahorros anuales son \$10.796.154 COP. Con esta información RETScreen4 calcula TIR, VPN y Repago de capital y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 27.

Tabla 27. Resultados económicos.

INDICADOR	RESULTADO
TIR	-6,00%
VPN	-\$ 73.184.355
REPAGO CAPITAL	> proyecto

El VPN arroja un resultado negativo de más de 73 millones de pesos, esto significa que los gastos durante el ciclo de vida son mayores que los ingresos obtenidos. El porcentaje de la TIR es -6 %, lo cual indica que el proyecto no es rentable porque siempre existirán gastos superiores a las ganancias previstas. Estos resultados se deben principalmente al gran costo que implica remplazar el banco de baterías por periodos de 7 años. La inversión inicial no es recuperable durante el ciclo de vida. A partir de estos resultados se puede determinar que la inversión no resulta viable económicamente. En la Figura 33 se observa la gráfica del flujo acumulado.

Figura 33. Gráfica flujo acumulado.



5.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO – ILUMINACIÓN LED

En esta sección se usa el módulo de Generación de electricidad – Sistema fotovoltaico RETScreen 4, para estudiar la viabilidad económica de alimentar el sistema LED dimensionado en la Sección 3.3 a través de energía solar fotovoltaica. El diseño eléctrico y cotización de componentes del sistema fotovoltaico propuesto se realizó en la Sección 4.2.

El sistema a trabajar es fuera de red. Los datos meteorológicos, idioma de trabajo, moneda y tipo de análisis es idéntico al utilizado en el estudio anterior.

En anexos se encuentra el archivo ejecutable de este estudio (Ver Anexo J).

5.4.1 Modelo de energía. Como en la Sección 5.3.1, se van a ingresar los datos técnicos del sistema solar fotovoltaico y de la red eléctrica. El costo actual de electricidad es 454,83 COP/kWh. La demanda de energía es 23,721 kWh/día, esta carga será idéntica para la red eléctrica como para el sistema fotovoltaico. El costo anual de energía del sistema eléctrico base asciende a \$3.937.993 COP.

El modo de rastreo solar es fijo con un ángulo de inclinación de 30°. En la Tabla 28 se visualizan los datos del inversor, banco de baterías y paneles solares.

Tabla 28. Componentes sistema solar fotovoltaico.

ELEMENTO	VDC [V]	P [kW]	CAP. [Ah]	EFIC. [%]	MÁX. PROF. DESC. [%]	ENER. [kWh]	EFIC. REG. [%]	TEMP. [°C]	COEF. TEMP [%/°C]
INVERSOR	24	3	.....	93	.....	.....	.....	.....	.....
BATERÍAS	24	.....	987	85	60	24	95	.....	.....
PANELES SOLARES	24	5,865	.....	15,85	.....	.....	.....	45	0,065

5.4.2 Análisis de costos. Se introduce al programa la inversión inicial del proyecto. Los costos de instalación y O&M del sistema es igual al descrito en la Sección 5.3.2. En la Tabla 29 se visualizan los gastos a ingresar en el software.

Tabla 29. Inversión inicial y gastos O&M

COSTOS INICIALES				
ELEMENTO	UM	CANT.	COSTO UNIT. (\$ COP)	COSTO TOTAL (\$ COP)
PANELES SOLARES	kW	5,87	\$ 3.330.494,04	\$ 19.533.348,00
INVERSOR	kW	3	\$ 2.123.875,32	\$ 6.371.626,00
BATERÍAS	kWh	24	\$ 744.429,07	\$ 17.866.297,69
INSTALACIÓN	proyecto	1	\$ 29.280.000,00	\$ 29.280.000,00
COSTOS ANUALES				
ELEMENTO	UM	CANT.	COSTO UNIT. (\$ COP)	COSTO TOTAL (\$ COP)
OPERACIÓN Y MTO	proyecto	1	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
COSTOS PERIÓDICOS				
ELEMENTO	UM	AÑO	COSTO TOTAL (\$ COP)	
BATERÍAS	costos	7	\$ 13.659.750,00	

5.4.3 Análisis de emisiones. Tomando como referencia el factor GEI calculado en la Sección 5.2.3 la herramienta estima las emisiones de gases al ambiente. El sistema LED emite al ambiente 1,6 tCO₂/año si es alimentado mediante la red eléctrica. El sistema fotovoltaico emite 0 tCO₂/año al ser una fuente de energía renovable y limpia. Por consiguiente, la disminución de emisiones es del 100%.

5.4.4 Análisis financiero. Se deben ingresar los datos de inflación, tasa de oportunidad, tiempo de vida del proyecto y aumento de la tarifa de energía. La tasa actual de inflación se encuentra en 8,1 %. Se estima un aumento del 4% de la tarifa de electricidad. El ciclo de vida del proyecto es de 25 años, el cual es la vida útil de los paneles solares. La tasa de oportunidad es nula.

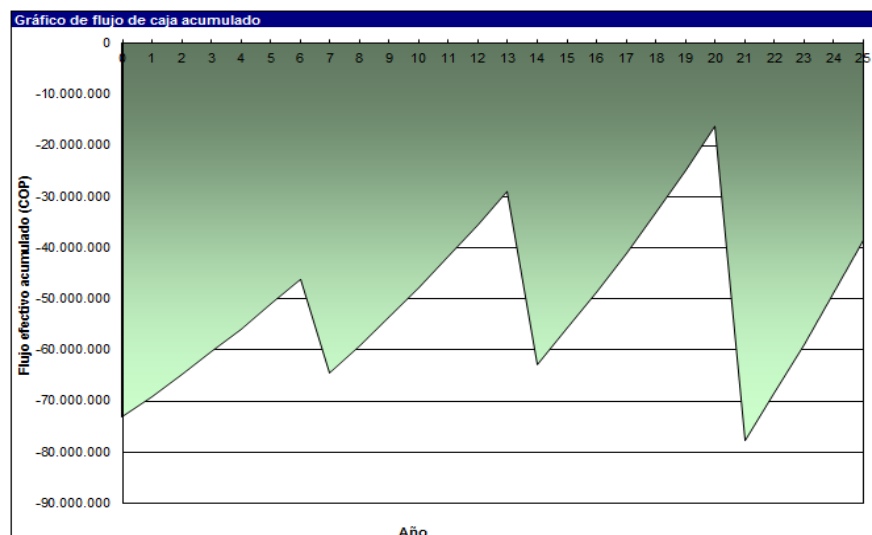
A partir de esta información y de los costos iniciales y anuales RETScreen determina la TIR, el VPN y el Repago de capital, los cuales son útiles para determinar la viabilidad financiera del proyecto. En la Tabla 30 se observan estos resultados.

Tabla 30. Resultados financieros.

INDICADOR	RESULTADO
TIR	-5,70%
VPN	-\$ 38.495.492
REPAGO CAPITAL	> proyecto

Se puede observar que en ningún momento de la vida del proyecto se pueda recuperar la inversión inicial. Los gastos que requiere al proyecto para mantenerse durante el ciclo proyectado ascienden a más de 38 millones de pesos. La tasa de retorno de la inversión arroja que los gastos son superiores a las ganancias previstas. De acuerdo a esto, la inversión no resulta atractiva económicamente. El flujo de caja acumulado del proyecto se presenta en la Figura 34.

Figura 34. Flujo de caja acumulado.



6. CONCLUSIONES

Partiendo de los estudios realizados para determinar la viabilidad financiera en proyectos del cambio de luminarias y sustitución de la fuente de alimentación por energía fotovoltaica en instalaciones de alumbrado utilizando el programa RETScreen 4 se pueden obtener las siguientes conclusiones acerca del programa:

- RETScreen 4 puede ser una herramienta útil para analizar la viabilidad económica de proyectos de energía donde estén definidos los costos totales de la inversión y no se tenga certeza de la rentabilidad que pueda traer el proyecto. Es recomendable su uso cuando se quieran evaluar financieramente proyectos de energía que requieran alta inversión inicial. Puede servir como herramienta de soporte de decisiones para aquellas personas que tengan pocos conocimientos sobre evaluación de proyectos. El programa puede ser aplicado para estimar reducción de emisiones de GEI y calcular posibles beneficios económicos que esto conlleve.
- RETScreen 4 no es útil utilizarlo cuando se necesiten realizar análisis técnicos de proyectos de energía, puesto que no tiene la capacidad de simular sistemas de energía ni determinar parámetros como estabilidad, pérdidas de energía y demás. El programa no permite evaluar la viabilidad económica de integrar varios proyectos de energía en simultáneo. Se puede apreciar que la base de datos se encuentra desactualizada, lo cual limita al usuario para realizar de forma precisa el análisis financiero del proyecto a evaluar.
- El módulo Mediciones de eficiencia energética permite estudiar en simultáneo cambios de equipos eléctricos, motores, sistemas de iluminación, ventilación, entre otros, para un caso base y uno propuesto. Calcula el costo anual de

electricidad para ambos casos y ahorros presentados. A partir de la matriz energética del país, estima las emisiones GEI de ambos casos, reducciones y posibles beneficios económicos.

- El módulo Generación de electricidad estudia de forma individual la viabilidad financiera de instalar fuentes no convencionales de energía, permitiendo analizar la rentabilidad económica de conectar el sistema de generación a la red o de forma aislada, si se trabaja de forma aislada se calculan los ahorros anuales de consumo de energía de la red. No es posible analizar de forma técnica los sistemas de generación de energía.

Para el caso de estudio seleccionado, el cual surge de una necesidad real expresada por una empresa del Área Metropolitana de Bucaramanga, se presentan las siguientes conclusiones:

- A partir de las cifras calculadas en el módulo Mediciones de eficiencia energética de RETScreen 4 se puede concluir que aunque los costos iniciales de instalar sistemas de iluminación LED aumentan 22 % con respecto a sistemas fluorescentes, resulta viable económicamente instalar iluminación LED frente a iluminación fluorescente debido a que la inversión se recuperaría en 1,5 años con una tasa de retorno que supera el 65 %.
- No resulta financieramente viable instalar sistemas fotovoltaicos de generación con almacenamiento en la edificación para alimentar el sistema fluorescente de las zonas generales. Partiendo de los resultados obtenidos en el módulo Generación de electricidad – Sistema fotovoltaico de RETScreen 4 se puede apreciar que la inversión inicial no se puede recuperar en el tiempo de vida del proyecto, por lo tanto, los gastos durante el ciclo de vida son mayores que las ganancias. La principal causa de esto es el costo que implica reemplazar las

baterías durante el proyecto, estos costos pueden representar hasta el 40 % de la inversión total del proyecto durante su vida útil.

- Tomando como base los índices económicos calculados en el módulo Generación de electricidad – Sistema fotovoltaico de RETScreen 4 se puede concluir que no es viable implementar sistemas fotovoltaicos de generación con almacenamiento para suplir la demanda del sistema de iluminación. Esto es, debido a que la inversión inicial no se logra recuperar en el ciclo de vida del proyecto, además, la inversión genera una tasa de retorno negativa, lo cual significa que los egresos son superiores a los ingresos. Esto se debe a que los ahorros anuales producto del consumo de energía de la red eléctrica no logran amortizar los costos de inversión inicial ni de operación y mantenimiento.

REFERENCIAS

- [1] BARQUIN GIL, J. (2004). Energía: Técnica, economía y sociedad. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- [2] Dirección General de Industria, Energía y Minas. (2006).Guía Técnica de Iluminación Existente. Sector Residencial y Terciario. <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-tecnica-de-iluminacion-eficiente-sector-residencial-y-terciario-fenercom.pdf>
- [3] VARGAS, S. & BERMUDEZ, J. Dimensionamiento de un sistema autónomo para bombeo de agua utilizando generadores fotovoltaicos. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga – Colombia. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, 2016.
- [4] ARENAS, O. & OVIEDO, A. Estudio técnico y financiero de implementación de paneles solares enfocados a centros comerciales. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga – Colombia. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, 2009.
- [5] CONNOLLY, D., LUND, H., MATHIESEN, B., & LEAHY, M. (2010). A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems. Applied Energy 87, 1059-1082.
- [6] CanmetENERGY. (2011). RETScreen User Manual. Varennes, Canada.

[7] HOMER Open Energy Information. (s.f.). Recuperado el 8 de Septiembre de 2016, de <http://en.openei.org/wiki/HOMER>

[8] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2010). RETILAP. Bogotá.

[9] LEGIS. (2016). Redes Eléctricas. Revista Construdata, Edición 180., 240-249.

[10] UPME. (2015). Plan de expansión de referencia generación-transmisión 2015-2029. Bogotá.

[11] ESSA-epm. (Febrero de 2014). Norma instalaciones eléctricas urbanas – Adenda modificatoria. Bucaramanga, Colombia.

[12] Banrep. (2016). Obtenido de Meta de inflación e inflación total al consumidor: <http://obieebr.banrep.gov.co/analytics/saw.dll?Go>

[13] LEGIS. (2016). Cuadrillas y herramientas. Revista Construdata. Edición 179., 62-67.

BIBLIOGRAFÍA

ARENAS, O. & OVIEDO, A. Estudio técnico y financiero de implementación de paneles solares enfocados a centros comerciales. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga – Colombia. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, 2009.

BANREP. (2016). Obtenido de Meta de inflación e inflación total al consumidor: <http://obieebr.banrep.gov.co/analytics/saw.dll?Go>

BARQUIN GIL, J. (2004). Energía: Técnica, economía y sociedad. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.

CanmetENERGY. (2011). RETScreen User Manual. Varennes, Canada.

CONNOLLY, D., LUND, H., MATHIESEN, B., & LEAHY, M. (2010). A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems. Applied Energy 87, 1059-1082.

DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y MINAS. (2006). Guía Técnica de Iluminación Existente. Sector Residencial y Terciario. <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-tecnica-de-iluminacion-eficiente-sector-residencial-y-terciario-fenercom.pdf>

ESSA-EPM. (Febrero de 2014). Norma instalaciones eléctricas urbanas – Adenda modificatoria. Bucaramanga, Colombia.

HOMER Open Energy Information. (s.f.). Recuperado el 8 de Septiembre de 2016, de <http://en.openei.org/wiki/HOMER>

LEGIS. (2016). Cuadrillas y herramientas. Revista Construdata. Edición 179., 62-67.

LEGIS. (2016). Redes Eléctricas. Revista Construdata, Edición 180., 240-249.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2010). RETILAP. Bogotá.

UPME. (2015). Plan de expansión de referencia generación-transmisión 2015-2029. Bogotá.

VARGAS, S. & BERMUDEZ, J. Dimensionamiento de un sistema autónomo para bombeo de agua utilizando generadores fotovoltaicos. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga – Colombia. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, 2016.