

**ANÁLISIS TÉCNICO DE ALTERNATIVAS ENTRE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN
CONVENCIONAL Y UNA PROPUESTA CON PANELES FOTOVÓLTICOS EN UN
PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA VIAL**

MARÍA ANGÉLICA ORELLANO DURÁN

JESÚS RODOLFO RODRÍGUEZ LUQUE



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – SECCIONAL BUCARAMANGA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA E INTERVENTORÍA DE OBRAS CIVILES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
FLORIDABLANCA**

2021

**ANÁLISIS TÉCNICO DE ALTERNATIVAS ENTRE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN
CONVENCIONAL Y UNA PROPUESTA CON PANELES FOTOVÓLTICOS EN UN
PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA VIAL**

MARÍA ANGÉLICA ORELLANO DURÁN

JESÚS RODOLFO RODRÍGUEZ LUQUE

Monografía para optar al título de especialista en Gerencia e Interventoría de Obras

Civiles

Director:

ALDEMAR REMOLINA MILLÁN

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – SECCIONAL BUCARAMANGA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA E INTERVENTORÍA DE OBRAS CIVILES
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
FLORIDABLANCA**

2021

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios.

A mi familia, por siempre ser mi apoyo y constante aliado para lograr lo que me propongo.

A mis amigos, por acompañarme en una meta más de mi para mi carrera profesional.

María Angélica Orellano Durán

A mi familia que son los artífices que ayudaron a llegar hasta acá. A mis amigos que fueron mi apoyo durante el proceso y que celebran cada uno de mis logros.

Jesús Rodolfo Rodríguez Luque

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
OBJETIVOS	13
OBJETIVO GENERAL	13
OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
JUSTIFICACIÓN	14
1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	16
2. MARCO INSTITUCIONAL	19
3. MARCO LEGAL Y NORMATIVO	20
4. MARCO TEÓRICO.....	24
4.1 Método de toma de decisiones multicriterio (MDCM).....	24
4.1.1 Proceso analítico jerárquico (AHP)	26
5. CASO DE ESTUDIO	32
5.1 Generalidades	32
5.1.1 Ubicación del proyecto.....	32
5.1.2 Tiempo de ejecución	33
5.1.3 Parámetros de diseño	33
5.2 Diseño de iluminación existente - Método Convencional	34
5.2.1 Materiales.....	34

5.2.2 Presupuesto:	38
5.3 Propuesta de diseño con paneles fotovoltaicos	39
5.3.1 Materiales.....	39
6. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA.....	41
7. CONCLUSIONES	57
REFERENCIAS.....	61
APÉNDICE.....	64
Apéndice A Formulario utilizado para el sondeo haciendo uso de la plataforma Google Forms	64

LISTA DE FIGURAS

Figura. 1. Clasificación del MDCM	26
Figura. 2 Modelo jerárquico del método AHP	27
Figura. 3 Vista geográfica de la ubicación del Intercambiador La Virgen.....	32
Figura. 4 Detalle de las lámparas.....	35
Figura. 5 Perfil típico del modelo de canalización enterrada	36
Figura. 6 Sección transversal típica del modelo de canalización enterrada.....	37
Figura. 7 Vista en planta general de la red de iluminación del Intercambiador	37
Figura. 8. Jerarquización para el caso de estudio	42

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Escala fundamental de comparación por pares	28
Tabla 2 Índice de consistencia aleatorio	30
Tabla 3 Clasificación del tipo de iluminación según tipo de vía	33
Tabla 4 Requisitos de iluminación según la clase de iluminación.....	34
Tabla 5 Parámetros para las estructuras de soporte según la clase iluminación	35
Tabla 6. Presupuesto oficial del sistema de alumbrado del Intercambiador La Virgen.....	38
Tabla 7 Matriz de decisión (Matriz A).....	50
Tabla 8 Matriz normalizada (Matriz B)	51
Tabla 9 Vector Ponderación (Vector P).....	51
<i>Tabla 10</i> <i>Multiplicación de matrices AxP</i>	52
Tabla 11. Matriz de evaluación: Retorno a la inversión	53
Tabla 12 Matriz de evaluación: Costo de instalación	53
Tabla 13 Matriz de evaluación: Costo de materiales	53
Tabla 14 Matriz de evaluación: Costo de mantenimiento.....	54
Tabla 15 Matriz de evaluación: Generación de contaminación.....	54
Tabla 16 Matriz de evaluación: Sostenibilidad.....	54
Tabla 17 Matriz de evaluación: Disponibilidad de proveedores.....	55
Tabla 18 Matriz de evaluación: Tiempos de entrega	55
Tabla 19 Matriz de evaluación: Vida útil.....	55
Tabla 20 Matriz de priorización.....	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfica. 1 Relación de costos a lo largo del tiempo para cada alternativa de iluminación	47
Gráfica. 2 Porcentaje de personas que cuentan con los conocimientos en la implementación de paneles fotovoltaicos.....	58
Gráfica. 3 Carreras profesionales involucradas en el sondeo	59

GLOSARIO

FNCE, Según la Ley 1715 del 2014 se definen las fuentes No Convencionales de Energía como aquellos recursos de energía que son ambientalmente sostenibles y están presente alrededor de todo el planeta, pero que actualmente en la nación no han sido utilizados y comercializados con frecuencia.

FN CER (Fuentes No Convencionales de Energía Renovables). Energía solar, eólica, biomasa etc.

CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas), Se crea en el año 1994 mediante las leyes 142 y 143 con el fin de regular las actividades de los servicios públicos energéticos.

UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética), es la unidad administrativa de carácter nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, la cual es la delegada de planear el crecimiento minero-energético del país y de fomentar el desarrollo e implementación de la política pública que contribuya a generar un futuro sostenible.

ILUMINACIÓN: “Acción de iluminar. Conjunto de luces que tienen como objetivo alumbrar o dar luz a algo”.

ILUMINANCIA: Es la relación entre el flujo luminoso que absorbe una superficie y la extensión que este pueda proyectar. Unidad de medida en Lux.

LUMINANCIA: Comúnmente llamada Brillo o Intensidad, es la relación entre la intensidad luminosa en una dirección determinada reflejada por una superficie para un observador situado en una dirección particular. Brillo fotométrico resultado de la luz procedente de un objeto.

LED (Light-Emitting Diode), Bombilla led o Diodo Emisor de Luz

PANEL SOLAR: Es una placa o módulo que capta la energía procedente de los rayos solares que incide sobre éste para su aprovechamiento.

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTÁICA: Se define como la electricidad generada producto de la incidencia de la radiación solar sobre elementos con tecnología fotoeléctrica.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ANÁLISIS TÉCNICO DE ALTERNATIVAS ENTRE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN CONVENCIONAL Y UNA PROPUESTA CON PANELES FOTOVÓLTICOS EN UN PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA VIAL

AUTOR(ES): MARÍA ANGÉLICA ORELLANO DURÁN
JESÚS RODOLFO RODRÍGUEZ LUQUE

PROGRAMA: Esp. en Gerencia e Interventoría de Obras Civiles

DIRECTOR(A): ALDEMAR REMOLINA MILLÁN

RESUMEN

El objetivo de este estudio tuvo como finalidad la formulación de un análisis para la selección de alternativas en proyectos de ingeniería que permita escoger una opción única y objetiva, evaluando criterios de selección relevantes, comparables y mutuamente excluyentes entre sí para cada alternativa en evaluación, los cuales son valorados usando el Método de Análisis Jerárquico. Se tomó como caso de estudio el sistema de iluminación de un intercambiador vial, el cual se encuentra en funcionamiento. Cuenta con un sistema de iluminación convencional que funciona utilizando energía eléctrica producida por plantas termoeléctricas e hidroeléctricas. Para el ejemplo estudiado se planteó la alternativa de un sistema de iluminación que funciona a partir de fuentes de energía no convencionales con paneles solares y de este modo poder enfrentar ambas tecnologías de iluminación por medio de una selección de criterios técnicos, ambientales y económicos. Cada criterio de las alternativas fue sometido a evaluación, cualitativa o cuantitativamente según correspondiera el caso, por medio de la ayuda de varios profesionales vinculados al gremio energético y de la construcción, quienes se encargaron de otorgar el nivel de importancia de cada uno de los criterios según su experiencia profesional. Estos resultados fueron enfrentados en la matriz multicriterio propuesta por la metodología AHP, en donde se relacionaron todos los criterios y puntajes otorgados para poder calificar a cada alternativa con un puntaje de priorización. El resultado de estas evaluaciones demostró que la alternativa que usa fuentes de energía no convencionales resultó ser la opción con mayor favorabilidad para el proyecto y también evidenció la postura que tienen los profesionales respecto a la conservación y preservación del medio ambiente, ya que los criterios relevantes a la protección del ecosistema y la reducción de la contaminación por la generación de la energía primaron sobre los factores económicos, técnicos y logísticos.

PALABRAS CLAVE:

Sostenible, fuente renovable, iluminación, panel fotovoltaico, alternativa, gerencia

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: TECHNICAL ANALYSIS OF ALTERNATIVES BETWEEN A CONVENTIONAL LIGHTING SYSTEM AND A PROPOSAL WITH PHOTOVOLTAIC PANELS IN A ROAD INFRASTRUCTURE PROJECT

AUTHOR(S): MARÍA ANGÉLICA ORELLANO DURÁN
JESÚS RODOLFO RODRÍGUEZ LUQUE

FACULTY: Esp. en Gerencia e Interventoría de Obras Civiles

DIRECTOR: ALDEMAR REMOLINA MILLÁN

ABSTRACT

The objective of this study was to formulate an analysis for the selection of alternatives in engineering projects that allows choosing an objective and unique option, evaluating relevant, comparable, and mutually exclusive selection criteria for each alternative under evaluation, which are valued using the Analysis Hierarchy Process (AHP). To carry out this monograph, La Virgen interchange, located on the road between the municipalities of Bucaramanga and Barrancabermeja in the department of Santander, was taken as a case study. The interchange, which is in operation, has a conventional lighting system that works using electrical energy produced by thermoelectric and hydroelectric plants. To compare this technology, it was proposed as an option to implement a lighting system that works using photovoltaic solar energy with solar streetlights and solar panels, this way to be able to face both lighting technologies through a selection of technical, environmental, and economic criteria. Each criterion of alternatives was subjected to evaluation, qualitatively or quantitatively as appropriate, through the help of several professionals linked to the energy and construction industry, who oversaw granting the level of importance of each criterion according to their professional experience. These results were confronted in the multicriteria matrix proposed by the AHP method, where each alternative was finally qualified with a prioritization score. The result of these evaluations showed that the alternative uses non-conventional energy sources (NCSE) turned out to be the most favorable option for the project and evidenced the position that professionals have regarding the conservation and preservation environment, since the relevant criteria about ecosystem protection and reduction of pollution from the generation of energy prevailed over economic, technical and logistical factors.

KEYWORDS:

Sustainable, renewable source, lighting, photovoltaic panel, alternative, management, manager.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

Actualmente, con el crecimiento desmedido de la población a nivel global y el desarrollo tecnológico que ha transformado nuestro entorno análogo a una era digital, lleno de pantallas increíbles, nuevos dispositivos inalámbricos, conectividad y globalización; el consumo energético ha tenido que crecer a la par de estos incrementos para brindar a los usuarios un bienestar social intangible, pero crucial para el desarrollo de cada sociedad. Es por esto, que países líderes en la búsqueda de fuentes de energía no convencionales, han incentivado el cambio de fuentes de energía con alto impacto ambiental, a propuestas que logren minimizar el daño ecológico que sufre el planeta constantemente. La motivación principal de esta monografía se fundamentó en dar un pequeño paso dentro de este cambio a gran escala, enfocado en los sistemas de iluminación en espacios públicos, especialmente los requeridos en proyectos de infraestructura vial. Para ello se realizará un análisis técnico comparativo entre el sistema de iluminación convencional y uno a través de fuentes no convencionales de energía como lo son los paneles fotovoltaicos, esto con el fin de promover la implementación de diferentes alternativas sustentables que incrementen el desarrollo económico, a su vez mantengan la conciencia ambiental que requieren las obras civiles en el país e incentiven a los gerentes de proyectos a evaluar otras propuestas constructivas.

Para materializar la anterior propuesta, se empleó como caso de estudio el intercambiador La Virgen, obra recientemente inaugurada en el Magdalena Medio ubicada sobre la vía Barrancabermeja – Bucaramanga. Adicionalmente, como metodología base se tendrán en cuenta los fundamentos de toma de decisiones multicriterio del proceso de análisis jerárquico desarrollado por Thomas L. Saaty, o más conocido por sus siglas en inglés como el método AHP (Analytic Hierarchy Process).

A través de estas herramientas se realizará la comparación de alternativas tecnológicas y finalmente se concluirá cual propuesta es más viable y se ajusta a todos los criterios de evaluación.

El alcance del trabajo realizado se limita a los aspectos cualitativos de los criterios que han sido identificados en el presente estudio, tomando como referencia datos recolectados y estimados de los sistemas de iluminación y no pretende ahondar en valores cuantitativos específicos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un análisis técnico de alternativas que permita la comparación entre el sistema actual de iluminación del Intercambiador La Virgen de la Gran Vía Yuma, y una propuesta energética a base de paneles fotovoltaicos

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Formular un análisis técnico de las alternativas de iluminación, a través de una matriz multicriterio que permita la identificación y evaluación de parámetros de selección.
- Implementar la metodología de evaluación propuesta y comparar los resultados obtenidos de los dos sistemas de iluminación aplicados en el caso de estudio del Intercambiador La Virgen en la Gran Vía YUMA.

JUSTIFICACIÓN

Tomando como referencia el desarrollo a nivel internacional de nuevas tecnologías y técnicas constructivas para aplicar en las diversas estructuras que genera el área de la ingeniería civil, es necesario crear conciencia en nuestro país y contribuir a la evolución de los proyectos en Colombia hacia la implementación no solo de energías renovables, sino también en el uso de materiales amigables con el medio ambiente; entre otras metodologías que contribuyan en un menor impacto a la crisis ambiental que atraviesa el planeta debido al calentamiento global.

Es por ello que, como país en vía de desarrollo, las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) deben convertirse en uno de los pilares de investigación y crecimiento, que potencialicen la puesta en funcionamiento de estas alternativas sostenibles.

Por lo tanto, para este caso de estudio se tomó como referencia el Intercambiador La Virgen de la Gran Vía YUMA, ubicado en las inmediaciones del municipio de Barrancabermeja, Santander; el cual hace parte de la lista de proyectos de infraestructura vial que se vienen desarrollando a lo largo de todo el territorio colombiano desde hace más de una década; con el fin de fortalecer la malla vial, aumentar la conectividad a lo largo y ancho del país y acrecentar la economía nacional.

La finalidad de dicho ejemplo, es proponer una comparación técnica que evidencie los aspectos positivos que conlleva el uso de energía renovable a través de paneles fotovoltaicos en la alimentación del sistema de iluminación del Intercambiador, en comparación con el sistema de energía eléctrica existente. Y adicionalmente, introducir los métodos de análisis multicriterio,

como lo es el AHP de Thomas Saaty, con el fin de brindar herramientas de decisión para casos similares, donde el grupo de profesionales que gerencien y lideren proyectos de infraestructura puedan evaluar alternativas simultáneamente.

1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Durante los años 70's y en medio de una crisis económica que sacudió las principales potencias del mundo, finalmente los dirigentes internacionales reconocieron que las problemáticas ambientales reportadas a la fecha no eran un simple "inconveniente" más; por el contrario, evidenciaron el alto impacto que había provocado el desarrollo desmedido de las industrias, el crecimiento poblacional y el aprovechamiento de los recursos naturales como si fuesen materias primas ilimitadas.

Es por ello que, a partir de este periodo, se establecieron cumbres mundiales en pro de mitigar y tomar medidas preventivas y correctivas para contrarrestar el daño ya causado a la capa de ozono, los diversos ecosistemas y el avance del calentamiento global.

Una de las iniciativas postuladas en dichos eventos, fue la incursión del término: Energías renovables, puesto que la generación de energía es uno de los pilares de la economía que juega un papel importante en el desarrollo de una nación y al mismo tiempo, genera un impacto al medio ambiente.

Paralelamente en Colombia desde los años 50's, incursionaron los calentadores solares con fines domésticos, en la ciudad de Santa Marta para las casas de los trabajadores de las bananeras. Para la siguiente década, en la Universidad Industrial de Santander, fueron instalados el mismo tipo de calentadores con el fin de analizar su desempeño, éstos provenían de Israel. Años más tarde, en vista de la crisis petrolera dada en 1973, otras instituciones universitarias, tales como: Universidad de los Andes, la Universidad Nacional en Bogotá, la Universidad del Valle, entre otras; y algunas fundaciones, como: el Centro Las Gaviotas, fueron las precursoras a la hora de

generar las bases fundamentales para la instalación de este tipo de calentadores no solo a escala doméstica, sino también fueron enfocados para ser usados en edificaciones de servicio comunitario como hospitales, los cuales están conformados por un sistema de calentamiento de agua más robusto. (Rodríguez Murcia, 2008)

Mientras que en los años ochenta, estos electrodomésticos fueron masificados en hoteles y urbanizaciones de ciudades como Bogotá y Medellín; simultáneamente fue creado el Programa de Telecomunicaciones Rurales de Telecom, con el apoyo técnico de la Universidad Nacional. En este programa se lograron establecer generadores fotovoltaicos de una capacidad de 60 Wp (Wp: vatio pico) para radioteléfonos rurales. Este proyecto logró la cifra de 2950 sistemas instalados a lo largo del país para finales de 1983. Este nuevo mecanismo de producción de energía, fue escogido por sus ventajas costo-beneficio en las zonas no interconectadas (ZNI) del país, pues resultaba una alternativa más económica a largo plazo y confiable, en lugar de la generada en base combustibles fósiles. (Rodríguez Murcia, 2008)

A pesar de que el uso de la energía solar en Colombia inició hace más de setenta años, hasta el 2001 con la ley 697 se fomentó el uso racional y eficiente de la energía y además se impulsó el uso de otras alternativas de fuente energéticas. Luego, el gobierno demoró 14 años buscando un mecanismo para incentivar su cumplimiento, el cual nace con la ley 1715 (2014), ley que se materializó con el artículo 296 de la ley 1955 (2019) (Velasco Muñoz & Salazar Calvache, 2019). Estas últimas legislaciones fueron modificadas por la resolución 829 de junio del 2020, en la cual el Estado brinda beneficios tributarios, tales como: deducción en el impuesto de renta, exclusión del IVA, exención de derechos arancelarios y depreciación acelerada; con el fin de promover el diseño, construcción y operación de proyectos a base de FNCE. (UPME, 2020)

Colombia comenzó a mediados de la década del 2010, un programa de infraestructura vial que planea la construcción y funcionamiento de las vías de Cuarta Generación o 4G, esto con el fin de permitir al país un desarrollo acelerado y competitivo para estar a la vanguardia del comercio internacional. En el evento *Colombia Genera* desarrollado en la ciudad de Cartagena en el 2014, el expresidente de la Ani, Luis Fernando Andrade Moreno expuso que el programa tiene previsto la construcción de 8 000 Km de nuevas vías que incluyen más de 1370 Km en dobles calzadas, 159 túneles con un total de 141 km, 1 335 viaductos con una longitud total de 150 km. Actualmente, se encuentran en funcionamiento dos de los proyectos más ambiciosos de este programa. De acuerdo a lo informado a través del boletín de prensa de la ANI (Agencia Nacional de Infraestructura), se resaltó el primero de ellos, nombrado como “El Viaducto de la Paz”, inaugurado a mediados del 2018, ubicado sobre la Ciénaga de la Virgen, Cartagena, es una mega estructura enfocada en la preservación del medio ambiente debido a su ubicación crucial, pues este se encuentra sobre un manglar. Su delicada situación, impulsó el uso de métodos constructivos y tecnologías que presentaran el menor impacto ambiental posible, como la aplicación del novedoso sistema Top Down para el uso de secciones prefabricadas en concreto y un sistema de iluminación eco-sostenible que funciona a partir de paneles fotovoltaicos. Posterior a este megaproyecto, esta misma tecnología para el sistema de iluminación sostenible fue aplicada para el proyecto autopista “Alto Magdalena”, ubicado entre los municipios de Girardot, Honda y Puerto Salgar por parte de la empresa francesa Fonroche Lighting. Este es un proyecto recientemente inaugurado que cuenta con más de 300 de luminarias solares instaladas para brindar luz al corredor vial durante todo el año.

2. MARCO INSTITUCIONAL

En primera medida es necesario contextualizar en el escenario nacional las instituciones encargadas de planear, ejecutar, regular y vigilar todas las actividades concernientes a la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía en el país.

En cabeza del organigrama se encuentra la Presidencia de la República, quien a su vez delega las dos primeras funciones mencionadas: planear y ejecutar; al Ministerio de Minas y Energía, quien es el líder desde la rama ejecutiva y de igual modo se apoya en la gestión realizada por la Unidad de Planeación Minero energética (UPME) y la Comisión de Energía y Gas (CREG).

La UPME es una institución creada mediante el decreto 2119 de 1992, donde la Comisión Nacional de Energía evolucionó para convertirse en la entidad que conocemos actualmente. Su misión es: “Planear el desarrollo minero-energético, apoyar la formulación e implementación de la política pública y generar conocimiento e información para un futuro sostenible”. (UPME, 2020)

Por otro lado, la CREG es un organismo gubernamental creado a partir de las leyes 142 y 143 de 1994, el cual tiene como misión: “Regular los servicios públicos de energía eléctrica, gas combustible y combustibles líquidos promoviendo la disponibilidad de una oferta suficiente y confiable para atender de manera satisfactoria y eficiente las necesidades de los usuarios, en armonía con la política pública”. (CREG, 2021)

Paralelamente, bajo la función de vigilar y controlar se encuentran la Superintendencia de Servicio Públicos Domiciliarios (SSPD) y la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC).

3. MARCO LEGAL Y NORMATIVO

Cronológicamente la regulación de la energía en Colombia inicia con la ley 697 del 2001, en la cual el gobierno Nacional promueve el uso racional y eficiente de energía (URE), con el fin de garantizar el abastecimiento en todo el territorio nacional, promover la competitividad en la economía e incentivar la utilización de energías no convencionales que contribuyan a un desarrollo sostenible con el medio ambiente (Congreso de la República, 2001). Para ello en el artículo 5º, se creó el Programa de Uso Racional y Eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales (PROURE), el cual fue reglamentado por el Decreto 3683 de 2003 y se lleva a cabo a través del Plan de Indicativo (PAI).

Actualmente el documento que se encuentra en vigencia fue establecido mediante la resolución 4-1286 del 30 de diciembre de 2016, correspondiente al periodo comprendido entre los años 2017 y 2022. En dicho Plan, se analizó el balance energético del anterior quinquenio, el cual arrojó un 48% en energía utilizada y un 52% en pérdidas, lo cual concluye que en Colombia la cantidad de energía desperdiciada tiene un costo estimado que asciende a los 4700 millones de dólares al año. Por otra parte, se evidenció que los sectores con altos índices de consumo, corresponden al gremio del transporte y la industria; es por ello que dentro del PAI se precisó una meta de eficiencia energética (EE) global de un 9.05% enfocado principalmente en la búsqueda de alternativas sostenibles. (Ministerio de Minas y Energía, 2016)

Años más tarde, fue aprobada por el Congreso de la República la Ley 1715 del 2014, la cual promulga la adición de las energías renovables no convencionales al sistema energético del país, especialmente aquellas que sean de carácter renovable.

La finalidad de esta ley se resume en las siguientes acciones: generar el marco legal y administrativo que deben cumplir los proyectos de esta índole para su integración dentro del mercado; fomentar la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias que contribuyan a la reducción de emisiones de gases invernadero y establecer mecanismos de cooperación entre el sector público y privado para la promoción de estas FNCER (Congreso de la República, 2014)

Desde entonces se han emitido varias resoluciones que ratifican y/o modifican lo dicho en la anterior ley; tales como:

- Decreto 1073 de 2015, considerado como el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía. Sin embargo, este fue derogado por las disposiciones expresadas en el Decreto 1625 de 2016, conocido como el Único Reglamentario en Materia Tributaria, el cual compila toda la información del decreto anterior.
- Decreto 2143 de 2015, donde se asegura la debida aplicación de los incentivos establecidos en la Ley 1715 y a su vez reglamenta los procedimientos generales para la procedencia de los beneficios.
- Decreto 829 del 2020, este documento es el más reciente y a partir de él, el Gobierno Nacional facilita el acceso a incentivos tributarios a través de la UPME, reduce tiempos en la obtención de dichos beneficios, otorga la exclusión de IVA para la compra de bienes y servicios, entre otras medidas que incentivan la inversión de proyectos a base de FNCE.

Esta última resolución es una iniciativa fundamental que respalda los objetivos propuestos en el PAI y, además, afianza las intenciones desde la administración nacional en el crecimiento de la generación de energía desde fuentes no convencionales, como lo son los paneles fotovoltaicos.

Por otro lado, desde el contexto técnico que rige los diferentes sistemas, ya sea eléctrico o de iluminación, en Colombia existen dos normas: RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones eléctricas) y RETILAP (Reglamento técnico de Iluminación y Alumbrado Público), respectivamente.

Asimismo, desde la Resolución 41012 del 2015, el Ministerio de Minas y Energía (MME) propuso un tercer reglamento: RETIQ (Reglamento Técnico de Etiquetado), el cual obliga el aporte de una etiqueta energética en electrodomésticos con el fin de promover tecnologías con eficientes energéticamente. (Ministerio de Minas y Energía, 2016)

Sin embargo, en consonancia con el caso de estudio del cual se basará el presente artículo, es pertinente determinar algunas características estipuladas en el RETILAP:

- En primera instancia este documento técnico fue expedido a través de la Resolución 18-1331 del 2009 emitida por el MME.
- Tiene como objeto primordial, “establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público, tendientes a garantizar: los niveles y calidades de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la seguridad en el abastecimiento energético, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos originados, por la instalación y uso de sistemas de iluminación” (Ministerio de Minas y Energía, 2021)
- Este reglamento es de obligatorio cumplimiento para proyectos nuevos, remodelaciones o ampliaciones, ya sea de sistemas de alumbrado público o privado.

- Desde su emisión se han expedido las Resoluciones 91872 de 28 de diciembre de 2012, 90980 de noviembre 15 de 2013 y 40122 de febrero 8 de 2016, como aclaraciones y modificaciones parciales.
- Con el fin de certificar el cumplimiento de esta norma, la Organización Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) brinda un listado con las entidades autorizadas para tal propósito.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Método de toma de decisiones multicriterio (MDCM)

A la hora de desarrollar un proyecto, se deben tener en cuenta las características principales que lo definen tales como: su carácter temporal, que es único, tiene un alcance específico y es flexible a los imprevistos que se puedan presentar; es por ello que se torna necesario que desde el punto de vista gerencial, sean evaluadas diferentes alternativas que puedan suplir la necesidad específica para la cual fue concebido el proyecto, con el fin de analizar simultáneamente distintas variables que permitan tener una visión holística de la situación y ayuden en la toma de decisiones de una manera más objetiva y parcial.

No obstante, con el paso del tiempo, la fase de toma de decisiones no siempre se ha caracterizado por la pluralidad de opciones a la hora de seleccionar una alternativa, por el contrario, previo al siglo XX se consideraba un *paradigma monocriterio*, en el cual de manera implícita se tenían en cuenta cuales eran las prioridades del decisor y se representaban matemáticamente mediante una única función, conocida como *función objetivo*; la cual permitía organizar las decisiones probables asignando a cada una de ellas, un determinado índice de deseabilidad basado en hipótesis lógicas esperadas por el Decisor. Estas alternativas finalmente se materializaban a través de técnicas matemáticas, que definían la solución óptima al problema, como aquella que es “mejor” para el Decisor. (Rodríguez-Uría, Bilbao Terol, Arenas Parra, & Pérez Gladish, 2004)

Posteriormente, al evidenciar que las condiciones de la realidad están en constante cambio, este pensamiento evolucionó y se convirtió en lo que hoy conocemos como el método de toma de decisiones multicriterio o Multicriteria Decision Making Method (MCDM).

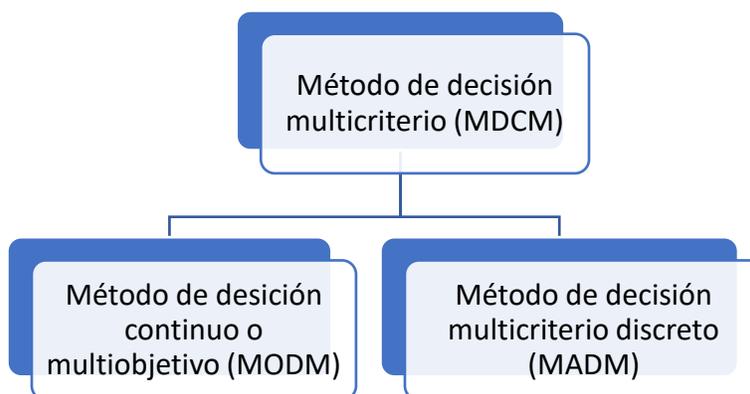
MDCM, es definido por (Sharfuddin Ahmed Khan, 2018) como una técnica que permite concertar el desempeño de alternativas mediante diversos criterios excluyentes, ya sean cualitativos y/o cuantitativos, donde finalmente se obtiene como resultado una conclusión consensada. En general, el objetivo principal de esta herramienta, se centra en ayudar a la o las personas que conforman el grupo gerencial que debe tomar la decisión, a elegir alternativas preseleccionadas o una única opción que satisfaga sus requisitos y esté en concordancia con sus preferencias.

Por otro lado, esta metodología ha introducido su propia terminología, con conceptos tales como (Masud & Ravindran, 2008):

- *Alternativas*: Son los posibles resultados al problema estudiado, entre las cuales el decisor puede escoger.
- *Atributos*: Son las cualidades que detallan cada una de las alternativas y la cantidad de éstos depende del criterio del decisor o del grupo de elección.
- *Criterios*: Son los parámetros que proporciona el decisor de acuerdo a cuáles son sus preferencias respecto a un determinado atributo. Por otro lado, los criterios pueden ser de carácter cualitativo (es una medida no objetiva) o cuantitativo (valoración numérica).
- *Objetivos*: Limitan las aspiraciones que el decisor desea cumplir, y en ocasiones se consideran como propuestas inaccesibles.
- *Metas*: Se manifiestan como un concepto posible, donde la alternativa seleccionada engloba tanto los criterios como los atributos establecidos, y se aproxima lo más posible a cumplir con los objetivos constituidos.

Adicionalmente, este modelo de toma de decisiones se subdivide en dos grandes grupos. Por un lado, se encuentran los problemas de *decisión multicriterio discretos*, los cuales tienen una cantidad de alternativas finitas, mientras que cuando la situación estudiada tiene un cantidad cuantificable de valores y propuestas infinitas, se llama *decisión multiobjetivo o continuo* (Ver *figura No.1*) (Berumen & Llamazares Redondo, 2007)

Figura. 1. Clasificación del MDCM



Fuente: Autor

4.1.1 Proceso analítico jerárquico (AHP)

Para el caso específico de esta monografía se hará uso de uno de los métodos más reconocidos de la rama de decisión multicriterio discreta (MADM), denominado como el proceso analítico jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP) desarrollado por el profesor Thomas L. Saaty en la década de los 70, como respuesta a problemas concretos que requerían una herramienta para la toma de decisiones por parte del Departamento de Defensa de los Estados Unidos y se considera como uno de los métodos pioneros, siendo aún uno de los más utilizados actualmente.

Según (Toskano Hurtado, 2005), la metodología de Saaty sobresale sobre otras propuestas de solución multicriterio por las siguientes características:

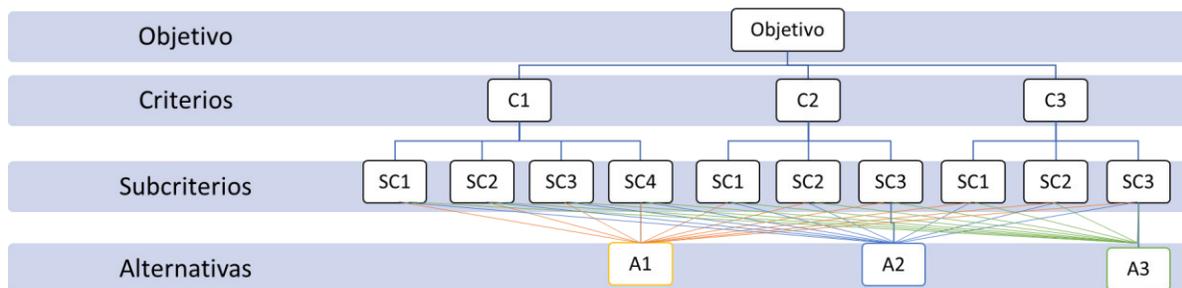
- ✓ Está sustentada en un modelo matemático.

- ✓ Da la posibilidad de desglosar y analizar el problema por partes
- ✓ Permite identificar los criterios y variables de manera jerárquica.
- ✓ Propicia espacios para acudir al juicio de expertos
- ✓ Favorece la verificación del índice de consistencia, permitiendo si es el caso realizar correcciones.
- ✓ La implementación numérica es de fácil entendimiento
- ✓ Brinda la opción de generar un análisis de sensibilidad posterior a su uso.

El AHP es la suma entre un desglose jerárquico, una comparación entre pares y el uso de elementos de álgebra matricial para establecer la alternativa más adecuada a la situación problema. El método está compuesto por tres etapas: (i) Modelización, (ii) Valorización y (iii) Priorización y Síntesis.

(i) **Modelización:** El problema es desglosado a través de una figura jerárquica, donde el primer nivel hace alusión al objetivo final, los niveles intermedios a las variables a evaluar y, por último, a las posibles alternativas de selección. La clave de este primer paso está en definir claramente los criterios, considerar los más relevantes y mutuamente excluyentes. (Ver figura No.2)

Figura. 2 Modelo jerárquico del método AHP



Fuente: Autor

- (ii) **Valorización:** Posteriormente, se construye una matriz de comparaciones pareadas de criterios, en la cual se enfrentan y comparan entre ellos, designando un valor de acuerdo a la escala de puntajes de Saaty (*Ver tabla No.1*), la cual otorga una calificación del 1 al 9 según el grado de importancia y relevancia de un criterio A sobre un criterio B.

Tabla 1. Escala fundamental de comparación por pares

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Fuente: Saaty, 1980

En este paso se construye una matriz **A**, denominada como **matriz de decisión**, la cual se caracteriza porque ser cuadrada ($n \times n$) y cumplir con las siguientes propiedades matemáticas:

- No.1 Axioma de reciprocidad: Si $a_{ij} = x$, entonces $a_{ji} = \frac{1}{x}$
- No.2 Axioma de Homogeneidad: Si i y j son igualmente importantes, $a_{ij} = a_{ji} = 1$, y además $a_{ii} = 1$ para todo i
- No.3 Axioma de dependencia: Existe una dependencia jerárquica en los elementos de dos niveles consecutivos.
- No.4 Axioma de consistencia: Esto quiere decir que la matriz no debe tener contradicciones respecto a la valoración realizada.

Con base en lo anterior, la matriz A se construye de la siguiente manera:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & a_{2n} \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & 1 \end{bmatrix}$$

Al concluir con la valoración de cada criterio dentro de la matriz A, se procede a sintetizar la información a través de una matriz normalizada B, siguiendo los pasos a continuación:

1. Se suman los valores de cada columna de la matriz A, obteniendo un valor total para criterio.
2. La primera columna de la matriz B, será igual a la fracción entre cada valor de la primera columna y el total anteriormente calculado. Es decir: $1/\sum a_{ij}$, $(1/a_{21})/\sum a_{ij}$, \dots
3. Al concluir el paso precedente, con las **n** columnas de la matriz A, se procede a ponderar las filas de la matriz B, obteniendo el vector P. Este dato se interpreta como cuál es el grado de importancia de cada criterio según la evaluación realizada.

Sin embargo, antes de seguir avanzando con la metodología Saaty, es necesario calcular la **razón de consistencia (RC)** tal y como lo exige el axioma No.4 de este modelo matemático.

En general, este cociente está diseñado para identificar si la matriz de decisión es consistente, y en el caso contrario alertar al decisor de reevaluar y modificar los valores originales. Esta operación resulta de la división entre el índice de consistencia (IC) y el índice aleatorio (IA), donde, si la operación da como resultado un valor ≤ 0.10 , confirma un nivel razonable de consistencia en la matriz A, y para valores mayores a 0.10, se considera inconsistente.

Las dos variables que conforman RC se definen así:

➤ **Índice de consistencia (IC)** = $\frac{n_{m\acute{a}x} - n}{n - 1}$, donde:

$n_{m\acute{a}x}$, resulta de la sumatoria de los elementos de la matriz A x vector P.

n , es igual al número de filas o columnas, es decir, la dimensión de la matriz A

➤ **Índice de consistencia aleatoria (IA)**, es el valor aleatorio promedio de IC para una matriz cuadrada, como lo muestra la tabla a continuación:

Tabla 2 Índice de consistencia aleatorio

n (Cantidad de criterios que se comparan en la matriz A)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de consistencia aleatorio (IA)	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.4	1.45	1.49

Fuente: Toma de decisiones para líderes de Thomas Saaty, Traducción 2014

Considerando la tabla anterior, se evidencia que de acuerdo a la dimensión de la matriz, para $n = 3$, el porcentaje de consistencia aleatorio es del 5%, $n = 4$ del 9% y para todo $n \geq 5$ es de más del 10%.

Al culminar con la verificación de la razón de consistencia de la matriz A, es posible continuar con la fase No.2 del método, en la cual se repiten los tres primeros pasos de la etapa anterior. En este caso, se deben conformar matrices cuadradas C_n similares a la matriz A, pero esta vez enfrentando las alternativas propuestas. Es decir, se deben construir una cantidad de matrices proporcional al número de criterios evaluados, puesto que la calificación que obtendrá cada posible solución frente a otra, será con base a la escala de puntajes de Saaty y se evaluará teniendo en cuenta la influencia de determinado criterio.

El procedimiento que se debe realizar es: completar la matriz C_n , conformar una matriz normalizada de la misma manera que se obtuvo la matriz B, y finalmente, construir el vector de ponderación Z_n , igual como se realizó el vector P.

- (iii) **Priorización y síntesis:** Para finalizar, se conforma una última matriz, la cual está compuesta por las alternativas en las filas y los criterios en las columnas. Los valores que conforman esta matriz serán igual a los vectores Z_n , correspondientes a la evaluación de cada alternativa según el criterio analizado. Al final de las filas, se agrega el vector ponderación P transpuesto, P^t , que hace alusión al peso obtenido para cada criterio respectivamente.

Como operación concluyente para determinar cuál de las alternativas es más favorable para el problema estudiado, se debe multiplicar cada una de las filas por el vector P, obteniendo un nuevo vector, denominado *vector de priorización*, el cual cuantifica el nivel de importancia de cada una de las alternativas, siendo la de mayor valor, la solución más adecuada para implementar.

5. CASO DE ESTUDIO

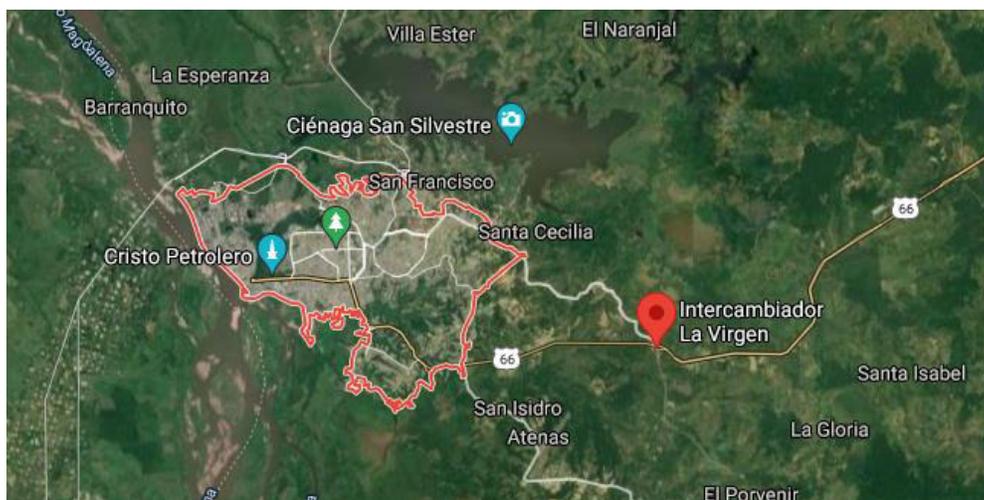
5.1 Generalidades

5.1.1 Ubicación del proyecto

El Intercambiador La Virgen, hace parte de la Gran VIA YUMA, proyecto ejecutado a través de una alianza público – privada, entre la gobernación de Santander, la Alcaldía de Barrancabermeja, INVIAS y Ecopetrol, con el fin de interconectar principalmente el transporte de carga, que se dirige hacia el distrito petrolero y proviene de diferentes sectores del país a través de troncales viales como Ruta del Sol II, Ruta del Cacao, etc.

Dicho Intercambiador, se encuentra puntualmente a la altura del PR8+200 de la Transversal 66 (Barrancabermeja – Yondó) y el KM0+000 del Sector 0 y 1 de este proyecto vial (Línea naranja), en inmediaciones al municipio de Barrancabermeja, Santander.

Figura. 3 Vista geográfica de la ubicación del Intercambiador La Virgen



Fuente: Google Maps

5.1.2 Tiempo de ejecución

Con relación al tiempo total de ejecución de obra, ésta inició en noviembre de 2019 y culminó en agosto del 2020, con un total en meses de 9, mientras que, para la construcción puntual de la red de iluminación, se presupuestó un tiempo no mayor a 5 meses para la entrega de la red.

5.1.3 Parámetros de diseño

5.1.3.1 Clasificación de la vía

Teniendo en cuenta las consideraciones técnicas del diseño de alumbrado público, dictado en la sección 510 del manual de RETILAP, es necesario analizar la velocidad de circulación y número de vehículos, y a partir de allí, definir la clase de iluminación de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 3 Clasificación del tipo de iluminación según tipo de vía

Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

Clase de Iluminación	Descripción vía	Velocidad de circulación (km/h)		Tránsito de vehículos T (Veh/h)	
M1	Autopistas y carreteras	Extra alta	V>80	Muy importante	T>1000
M2	Vías de acceso controlado y vías rápidas.	Alta	60<V<80	Importante	500<T<1000
M3	Vías principales y ejes viales.	Media	30<V<60	Media	250<T<500
M4	Vías primarias o colectoras	Reducida	V<30	Reducida	100<T<250
M5	Vías secundarias	Muy reducida	Al paso	Muy reducida	T<100

Tomado del anexo técnico del RETILAP

Para este caso en particular y teniendo en cuenta el estudio de tránsito realizado para la construcción del Intercambiador, la proyección obtenida fue de 1'607.726 vehículos mixtos para el 2031, es decir, se estima una circulación de 186 vehículos/hora. Mientras que el parámetro de velocidad esta definido en un máximo de 80 km/h. Por lo cual, a la hora de elegir la clase de

iluminación, lo más adecuado es considerar el criterio más crítico, que en este caso sería la velocidad y se concluiría con un proyecto clase M2.

5.1.3.2 Requisitos de iluminación

Según la norma, posterior a la evaluación de las características de la vía a iluminar, es necesario tener en cuenta cuales son los requisitos de luminancia, los cuales están plasmados en la siguiente tabla:

Tabla 4 Requisitos de iluminación según la clase de iluminación

Clase de iluminación	Zona de aplicación				
	Todas las vías			Vías sin o con pocas intersecciones	Vías con calzadas peatonales no iluminadas
	Luminancia promedio L_{prom} (cd/m^2) Mínimo mantenido	Factor de uniformidad U_o Mínimo	Incremento de umbral TI % Máximo inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia U_l Mínimo	Relación de alrededores SR Mínimo
M1	2.0	0,4	10	0,5	0,5
M2	1,5	0,4	10	0,5	0,5
M3	1,2	0,4	10	0,5	0,5
M4	0,8	0,4	15	N.R	N.R
M5	0,6	0,4	15	N.R	N.R

Fuente: Anexo técnico del RETILAP

Y de esta manera se fija una pauta inicial, de cuáles son las especificaciones mínimas que deben cumplir los elementos a instalar.

5.2 Diseño de iluminación existente - Método Convencional

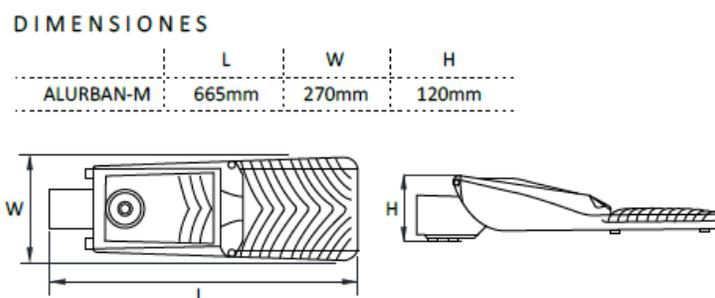
5.2.1 Materiales

Actualmente el Intercambiador La Virgen fue construido bajo un modelo de iluminación convencional, el cual este compuesto por los elementos descritos a continuación:

5.2.1.1 Luminarias: De acuerdo a las exigencias de diseño, el material escogido fueron luminarias ALURBAN-M, de 90W, las cuales están fabricadas en aluminio de alta resistencia a la corrosión, debido a su exposición 100% a la intemperie.

Además, cuentan con un soporte ajustable que permite una inclinación entre 0° a 20° , un conjunto óptico con vidrio de alta transmitancia y resistencia al impacto.

Figura. 4 Detalle de las lámparas



Fuente: Diseño eléctrico del proyecto

5.2.1.2 Estructuras de soporte: Según el anexo técnico de RETILAP, se encuentran pre establecidas algunas configuraciones básicas para las ubicaciones de los puntos de iluminación, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 5 Parámetros para las estructuras de soporte según la clase iluminación

Clase de Iluminación	Altura (m)	Relación S/H	Disposición de las luminarias	
			Criterio	Disposición
M1	12 - 14	3,5 - 4	Dos carriles de circulación	Unilateral
M2	10 - 12	3,5 - 4	Dos carriles de circulación	Unilateral
M3	8,5 - 10	3,5 - 4	Ancho de la calzada menor	Unilateral
M4	7 - 9	3,5 - 4	Unilateral	
M5	6	3,5 - 4	A criterio del diseñador	

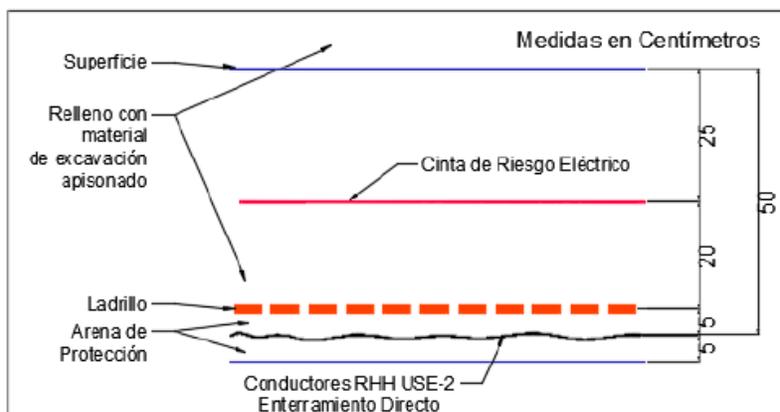
Fuente: Anexo técnico del RETILAP

Por lo tanto, para el proyecto se escogieron postes en concreto pretensado de 12m y capacidad de ruptura de 510kgf.

5.2.1.3 Canalizaciones y cables: En cuanto a las canalizaciones del cableado eléctrico, se hizo uso de los requerimientos del RETIE, en el numeral 25.7.2, Inciso K, donde se cita: “Para cables de enterramiento directo, el fondo de la zanja será una superficie firme, lisa, libre de discontinuidades y sin obstáculos. El cable dispondrá con una barrera de protección contra el deterioro mecánico para lo cual se podrían utilizar ladrillo u otro tipo de cubierta mecánica. A una distancia entre 20 y 30 cm por encima del cable debe instalarse una cinta de identificación o señalización o biodegradable en un tiempo menor a la vida útil de cable enterrado.”

Figura. 5 Perfil típico del modelo de canalización enterrada

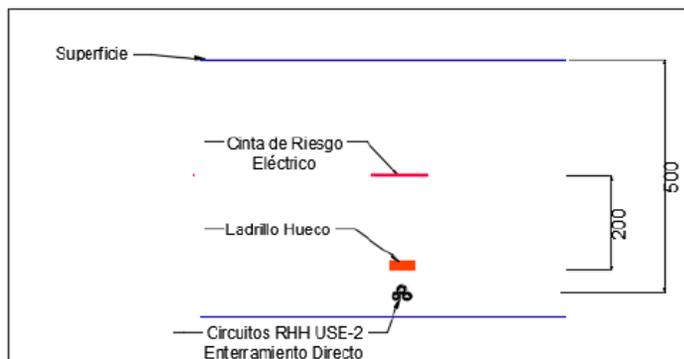
Perfil de la excavación



Fuente: Diseño eléctrico del proyecto

Figura. 6 Sección transversal típica del modelo de canalización enterrada

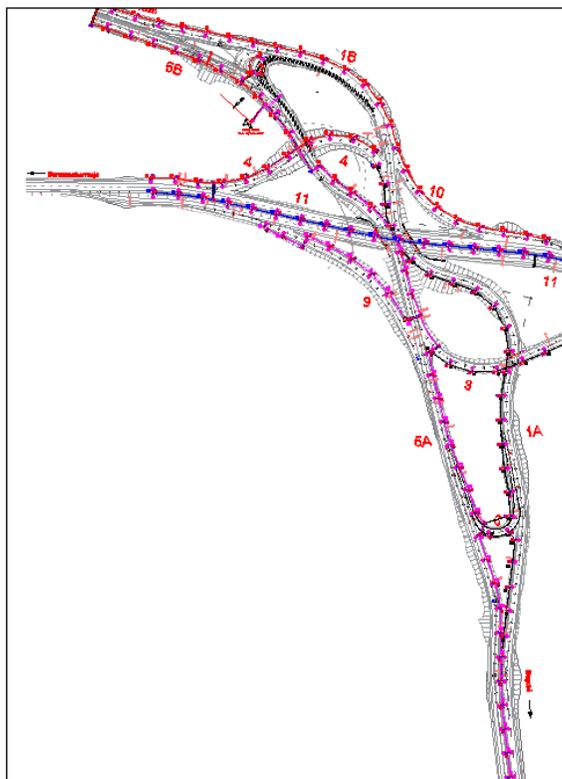
Sección



Fuente: Diseño eléctrico del proyecto

En este caso, el cable utilizado es un RHW-2/USE-2-/USE marca CENTELSA. Los elementos anteriores, se resumen en este diseño:

Figura. 7 Vista en planta general de la red de iluminación del Intercambiador



Fuente: Planos de iluminación del proyecto

5.2.2 Presupuesto:

Teniendo en cuenta la información anterior, el presupuesto total del proyecto de iluminación se tasa en un valor total de \$1'621.604.667 COP y se compone de la siguiente forma:

Tabla 6. Presupuesto oficial del sistema de alumbrado del Intercambiador La Virgen

INTERCAMBIADOR LA VIRGEN		PRESUPUESTO LATINCO OCTUBRE 2019			
ITEI	NOMBRE	UNID.	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL+ICP (3,8%)
5,1	Excavaciones varias en material común en seco	M3	1 182.36	16 111.00	19 772 864.08
5,9	Rellenos para estructuras con material propio de la excavación	M3	853.70	22 822.00	20 223 500.36
5,11	Relleno estructural para alcantarillas con base granular	M3	146.71	89 305.00	13 599 810.61
10,4	Suministro e Instalación de Caja Tipo Intemperie ROCKWELL 5800	UND	20.00	68 955.00	1 431 505.80
10,5	Suministro e Instalación de 4 Cables TTU RHH/RHW2 AA8000 90°C #6 AWG	ML	4 978.70	13 154.00	67 978 433.16
10,8	Suministro e Instalación de Transformador auto protegido de 25 KVA, en Aceite, 13,2Kv / 480-240 Voltios, Dy5. Incluye Pruebas y Puesta en Servicio.	UND	1.00	6 368 519.00	6 610 522.72
10,9	Suministro e Instalación de Brazo Sencillo para Luminarias de Alumbrado Público, Certificado.	UND	109.00	299 487.00	33 884 558.15
10,10	Suministro e Instalación de Brazo Doble para Luminarias de Alumbrado Público, Certificado.	UND	30.00	461 202.00	14 361 830.28
10,12	Suministro e instalación de LUMINARIA AP-ALURBAN-90W IP-65 100-277 VAC 5000K.	UND	168.00	3 196 146.00	557 356 724.06
10,14	Suministro e Instalación PROYECTOR INDUSTRIAL ANTARES M 32LED 70W IP-65 100-277 VAC 5000K	UND	20.00	2 569 286.00	53 338 377.36
10,18	Cámara de Inspección 0.6'0.6'0.8 m.	UND	2.00	1 206 136.00	2 503 938.34
10,19	Suministro y construcción de caja de unión para alumbrado público tipo RS3-001 de EPM, de 40 cm x 40 cm internos libres.	UND	148.00	502 813.00	77 244 144.31
10,20	Suministro e instalación de puesta a tierra de transformador, con construcción de malla de puesta a tierra en triángulo a través de 3 varillas de 2,4 metros, en acero inoxidable, separadas 5 metros entre ellas.	UND	1.00	972 628.00	1 009 587.86
10,21	Suministro e instalación de puesta a tierra a través de varilla 2,4 metros, en acero inoxidable	UND	27.00	429 612.00	12 040 305.91
10,23	Canalización PVC 2x2"	M	2 970.20	42 677.00	131 576 075.55
10,45	Suministro e instalación de poste de concreto de 12m x 510 Kgf	UND	140.00	1 404 770.00	204 141 176.40
10,75	Suministro e instalación de cerramiento en malla eslabonada de 2 1/4 x 2 1/4 desnuda, ángulo de 1 1/4" x 3/16", tubo galvanizado de 2" cada 3,0 m. módulos de H= 2m.	M2	24.00	75 180.00	1 872 884.16
10,105	Suministro e Instalación de Estructura MT Similar a IPSE-710 (Incluye, Cruzeta de 2m x 2 1/2"x2 1/2"x3/16" con Diagonal en V y Herrajes para Montaje, Protección por Fase con 2 DPS (12Kv-10KA) y 2 Cortacircuitos (15Kv-100A-12KA) con Respectivos Fusibles y Conexión al Transformador).	UND	1.00	5 160 202.00	5 356 289.68
10,106	Suministro e instalación de acometida 3 x # 2 AWG/THHN Cu, desde terminales del transformador hasta equipo de medida en el tablero de distribución, (incluye Bajante en Tubería metálica IMC 1 1/2" x 6 m, Capacete 1 1/2", Llegada al tablero en flexiconduit liquid tight de 1 1/2" y Terminales y conexionado de conductores)	UND	1.00	3 785 046.00	3 928 877.75
10,107	Suministro e Instalación de Tablero Certificado, frente muerto, tipo intemperie, Compartimentado para Protección y medida independiente con visor tipo ESSA y acrílico para instalación de sellos ESSA, (incluye Breaker totalizador 60 A, 600 voltios, 10KAmp, Barraje en cobre, capacidad 200 Amperios, 600 VAC, 2 fases, neutro y tierra; Breaker monopolaes 1 de 1x32 Amperios, 1 de 1x10 Amperios, 600 VAC, 10 kA y DPS 480 Voltios, 12 KA)	UND	1.00	5 445 502.00	5 652 431.08
10,109	Suministro e Instalación de Tubería IMC 3/4" (Incluye Accesorios de Unión)	ML	84.00	103 199.00	8 998 127.21
10,112	Suministro e Instalación de Recubrimiento Ladrillo Acostado H-10 de Ancho (Incluye Cinta de Señalización)	ML	978.30	9 831.00	9 983 138.35
COSTO DIRECTO					1 252 865 103.17
		ALI 20.5%, U=5%	A	14.50%	181 665 440.00
			I	1.00%	12 528 651.00
			U	5.00%	62 643 255.00
COSTO BÁSICO					1 509 702 449.17
		NA SOBRE UTILIDAD		19.00%	11 902 218.00
TOTAL CONTRATO					1 521 604 667.17

Fuente: Documentos oficiales del proyecto

5.3 Propuesta de diseño con paneles fotovoltaicos

5.3.1 Materiales

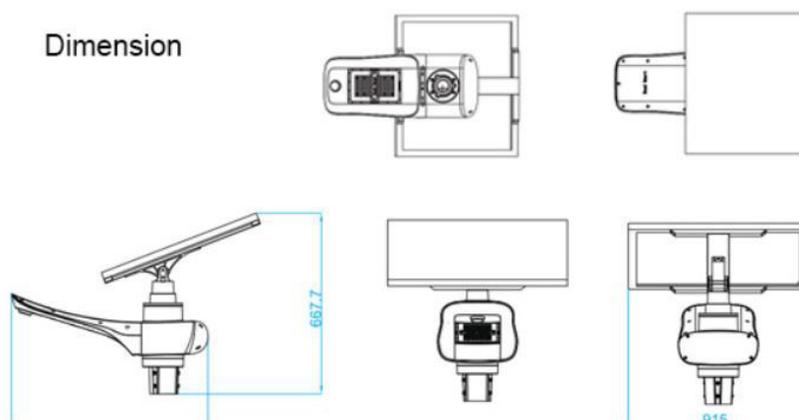
Para la propuesta del sistema de iluminación alternativo con FENC, se eligió luminarias alimentadas por paneles solares las cuales serán descritas a continuación:

5.3.1.1 Luminarias: De acuerdo con las exigencias del sistema instalado en el intercambiador, se escogió la luminaria SOLAR FLYHORSE LIGHT RS-FH150 de 70W de la marca Road Smart.

Esta luminaria cuenta con un panel solar de dimensiones 66 cm de largo por 132 cm de ancho en su parte superior, encargado de recibir la radiación solar, el cual es ajustable a diferentes ángulos para tomar los rayos solares con mayor incidencia a lo largo del día.

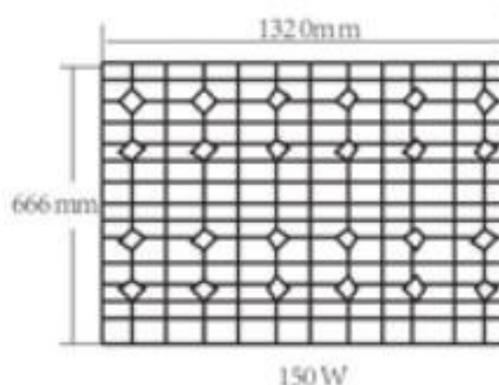
Cuenta con una batería de litio de 880WH encargada almacenar la energía a lo largo del día, la cual otorgará la autonomía de la lámpara en la ausencia de luz solar, operada por un software preinstalado responsable de evitar que esta llegue a su mínimo de carga y así proteger la vida útil de la batería.

Figura. 8 Detalle luminaria propuesta alternativa



Fuente: Catálogo del proveedor

Figura. 9 Detalle panel fotovoltaico de 150W



Fuente: Catálogo del proveedor

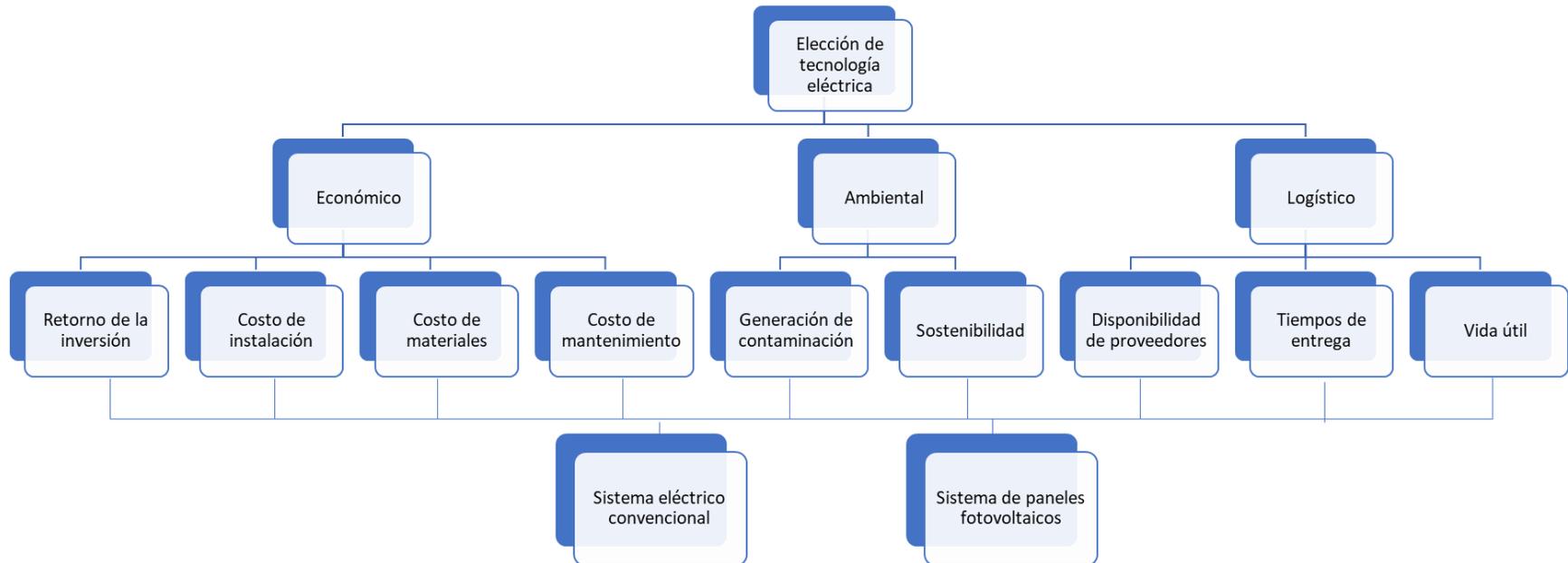
5.3.1.2 Estructura de soporte: Para mantener la igual de condiciones entre ambas alternativas, la luminaria escogida se soporta con un poste en aluminio revestido en su superficie con zinc y recubierta con anticorrosivo. Este poste permite un rango de instalación entre 7 y 12 metros, lo cual permite una instalación óptima de 10 metros de altura libre exigidos por la norma.

5.3.1.3 Canalizaciones y cables: Para el caso de las luminarias con paneles solares, cada una de estas funciona como un sistema o estructura independiente y autónoma, por tal motivo, para la instalación de este tipo de alumbrado, no se necesita algún cableado o conexión externa que necesiten movimientos de tierra adicionales.

6. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Con el fin de llevar a cabo las tres etapas de la metodología de Saaty, se inició con la elaboración del modelo jerárquico específico para la situación estudiada, el cual está enfocado en reconocer que alternativa es más adecuada, entre un sistema convencional y un sistema de paneles fotovoltaicos, a la hora de ser implementada en un proyecto de alumbrado público en una construcción vial.

Figura. 8. Jerarquización para el caso de estudio



Fuente: Autor

En este caso, en el primer nivel se encuentra el problema de estudio: Elección de tecnología eléctrica; posteriormente, los criterios agrupados en tres grandes grupos: económico, ambiental y logístico. Subsiguiente, se determinaron los siguientes 9 subcriterios: Retorno de la inversión, costo de instalación, costo de materiales, costo de mantenimiento, generación de contaminación, sostenibilidad, disponibilidad de proveedores, tiempos de entrega, vida útil. Y, por último, las dos alternativas estudiadas: Sistema eléctrico convencional y sistema de paneles fotovoltaicos.

Con el fin de acceder a información de apoyo que contribuya a la hora de valorizar los criterios, se realizó un sondeo con profesionales conocedores en la construcción de sistemas de alumbrado público, haciendo uso de un formulario propio a través de la plataforma Google Forms (*Ver apéndice A*). El documento fue formulado en tres partes, así:

- I. ***Datos básicos:*** Nombre completo, profesión y confirmar o no su conocimiento en el uso de paneles fotovoltaicos.
- II. ***Calificación de criterios:*** El encabezado fue el siguiente: “Califique del 1 al 9, el grado de importancia que usted considera entre los siguientes criterios a la hora de evaluar y construir un proyecto de alumbrado público. Donde 1 es poca importancia y 9 es máxima importancia.” Y los criterios a evaluar fueron: Costo de instalación, Costo de materiales, Costo de mantenimiento, Generación de contaminación, Sostenibilidad, Disponibilidad de proveedores, Tiempo de entrega de materiales y Vida útil.
- III. ***Caso de estudio:*** Con el fin de contextualizar al entrevistado en un proyecto de alumbrado público como el que está siendo analizado en la presente monografía, se redactó la introducción a continuación:

“Suponga que usted hace parte de la directiva de un proyecto de infraestructura vial que requiere desarrollar una propuesta de alumbrado público, en la cual se discuten la viabilidad de dos tecnologías: paneles fotovoltaicos o energía eléctrica convencional.

Otorgue un puntaje del 1 al 9, de acuerdo a la escala adjunta, seleccionando el grado de prioridad que tiene cada uno de los siguientes criterios a la hora de elegir una alternativa de energía. Donde A corresponde a un sistema eléctrico convencional y B un sistema con paneles fotovoltaicos”

Las preguntas evaluadas fueron:

- a. Criterio a evaluar: ¿En cuál sistema el COSTO DE INSTALACIÓN influye favorablemente en la economía del proyecto?
- b. Criterio a evaluar: ¿En cuál sistema el COSTO DE MATERIALES influye favorablemente en la economía del proyecto?
- c. Criterio a evaluar: ¿En cuál sistema el COSTO DE MANTENIMIENTO influye favorablemente en la economía del proyecto?
- d. Criterio a evaluar: ¿Qué tan importante es para usted la GENERACIÓN DE CONTAMINACIÓN a la hora de llevar a cabo un proyecto?
- e. Criterio a evaluar: ¿Qué tan importante es para usted la SOSTENIBILIDAD a la hora de llevar a cabo un proyecto? / Definición de sostenible: Significa que tiene la capacidad de mantenerse en el tiempo sin afectar o causar un daño sobre el medio ambiente.
- f. Criterio a evaluar: ¿Teniendo en cuenta la DISPONIBILIDAD DE PROVEEDORES actualmente, por cuál de los dos sistemas optaría usted para su proyecto?

- g. Criterio a evaluar: ¿De acuerdo a los TIEMPOS DE ENTREGA DE MATERIALES que se ofrecen en el mercado actualmente, cuál sistema elegiría para implementar en su proyecto?
- h. Criterio a evaluar: En base a su experiencia, cuál sistema escogería para su proyecto, ¿tomando en consideración la VIDA ÚTIL que éste pueda tener?

Por otro lado, con base en la información del caso de estudio, la propuesta de diseño con paneles fotovoltaicos presentada anteriormente y consultas a profesionales del gremio, se analizaron uno a uno los criterios para cada sistema, con el fin de contar con datos complementarios además de los resultados producto del sondeo.

A continuación, se listan los nueve criterios, cada uno aplicado a ambos sistemas de iluminación:

▪ *Costo de instalación*

Sistema convencional	Sistema No Convencional
Con base en el presupuesto oficial de la iluminación para el Intercambiador, la suma total de instalación alcanza los 480 millones de pesos colombianos.	El costo de instalación para el sistema no convencional tiene un valor de 120 millones de pesos colombianos, un valor mucho menor al convencional debido a que no necesita redes subterráneas adicionales.

▪ *Costo de materiales*

Sistema convencional	Sistema No Convencional
-----------------------------	--------------------------------

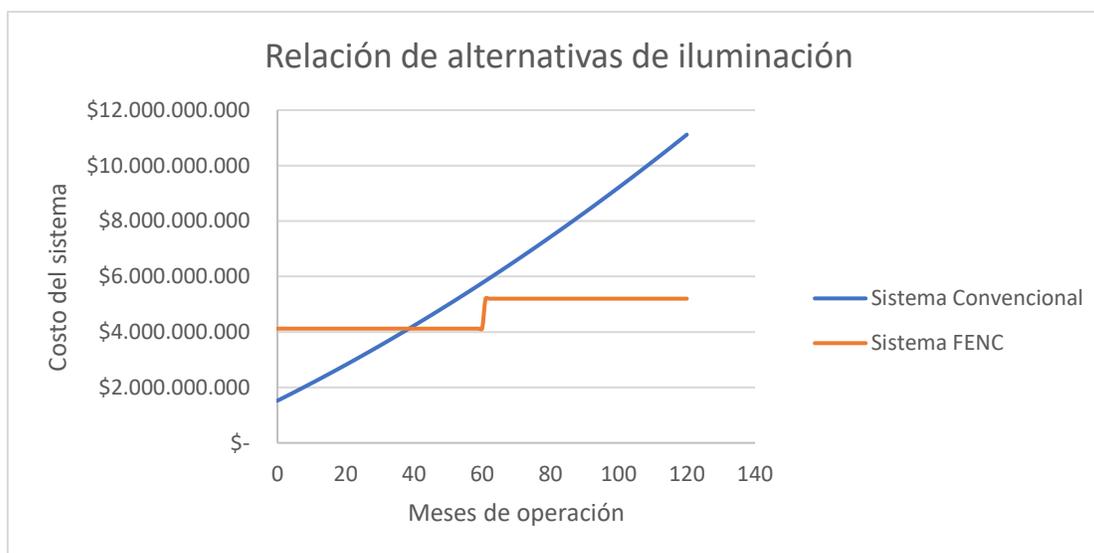
<p>Teniendo en cuenta el presupuesto oficial del alumbrado existente, el valor invertido en compra de materiales, desde luminarias, transformador, cable, entre otros; fue cercano a los 856 millones de pesos colombianos.</p>	<p>Para la propuesta nueva, el costo de los materiales es el más elevado, ya que cada el sistema de cada luminaria es individual y funciona de manera autónoma. Su valor es de 4.000 millones de pesos colombianos aproximadamente para el caso de estudio.</p>
---	---

- *Costo de mantenimiento*

Sistema convencional	Sistema No Convencional
<p>El costo de mantenimiento de un sistema convencional en comparación a su costo de insumos e instalación es despreciable; sin embargo, lo que hace que sea relevante es la mano de obra calificada para realizar esta labor la cual va de la mano con la operación de este.</p>	<p>El costo de mantenimiento del sistema de paneles solares es variable ya que este requiere diversos mantenimientos: limpieza de paneles, alineación de paneles, y revisión de baterías periódicamente. Sin embargo, es un costo despreciable en comparación con sus costos iniciales de insumos e instalación.</p>

- *Retorno de la inversión*

Gráfica. 1 Relación de costos a lo largo del tiempo para cada alternativa de iluminación



Fuente: Autor

A partir de la información mostrada en la gráfica de una proyección a futuro de cada uno de los gastos de operación, mantenimiento, administración y demás costos fijos que presentan los dos sistemas de iluminación, se puede calcular el momento en el que el costo de ambos sistemas se iguala, este punto en la gráfica se conoce como periodo de retorno de la inversión. A partir de ese momento y en adelante, en este caso el mes 39, seguir usando el sistema convencional de iluminación resultará más costoso que el sistema FECN a pesar de que su inversión inicial era menos de la mitad que el de la nueva propuesta. Esta diferencia de costos se debe al constante consumo de energía eléctrica suministrada por la empresa prestadora del servicio público, en este caso la Electrificadora de Santander S.A E.S.P (ESSA), en contraste con el sistema de iluminación

por paneles, el cual utiliza energía renovable (energía solar) y sus únicos costos fijos serán los de mantenimiento y el reemplazo de sus partes obsoletas o que hayan cumplido su ciclo.

- ***Generación de contaminación***

Sistema convencional	Sistema No Convencional
De acuerdo con las estadísticas publicadas por (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2015) en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI), donde se analizaron los datos históricos hasta el año 2012, se concluyó que el 44% de la huella de carbono producida en el país es generada por el sector energético, el cual produjo en el 2012 77.8 Mton kg Co ₂ eq (MTon=Megatonelada)	Si bien es cierto, que este tipo de sistemas no convencionales, enfocados en energías limpias y renovables, no producen durante su uso una huella de carbono o producción de gases efecto invernadero, sí tienen un leve impacto durante su fabricación. Según (Nugent & Sovacool, 2014), durante dicho proceso se producen 498 kg CO ₂ eq.

- ***Sostenibilidad***

Sistema convencional	Sistema No Convencional
Tomando en consideración que la huella de carbono producida por la generación de energía bajo el sistema convencional de energía es mayor que las producidas por paneles fotovoltaicos, se	

concluye que éste último al ser considerado una energía renovable, cumple su función de sostenible por el bajo o nulo impacto al medio ambiente.

- *Disponibilidad de proveedores*

Sistema convencional	Sistema No Convencional
<p>En Colombia existe un gran avance en la fabricación y distribución de iluminación con tecnología LED, ya que esta tecnología incursionó en el país hace más de 20 años y con el pasar del tiempo se ha fortalecido aún más. La oferta del mercado nacional es muy amplia, se distribuye en casi todos los departamentos (Cerca de 25) y permite escoger entre múltiples precios, funciones, etc; en alrededor de más de 500 proveedores entre fabricantes y distribuidores nacionales e internacionales.</p>	<p>En el caso de los paneles fotovoltaicos, existe menor presencia a nivel nacional de proveedores que los distribuyan, y a aún mucho menos el número de empresas colombianas que son netamente fabricantes. Es por ello que en ocasiones resulta un poco más difícil encontrar la empresa adecuada que supla todas las necesidades de un proyecto. Sin embargo, es un mercado que esta en auge y ha aumentado considerablemente en los últimos cinco años.</p>

- *Tiempos de entrega de materiales*

Sistema convencional	Sistema No Convencional
<p>En consonancia con la oferta de proveedores en el mercado nacional, los tiempos de entrega de materiales pueden aumentar un poco más para los casos en los que se desee hacer uso de un sistema no convencional, como el de los paneles fotovoltaicos.</p>	

- *Vida útil*

Sistema convencional	Sistema No Convencional
De acuerdo a la ficha técnica del proveedor de las luminarias, ALUTRAFIC, el tipo de lámpara LED usada para el proyecto, tiene una duración en servicio de <i>100000 horas</i> , lo cual equivaldría a un poco más de <i>22 años</i> , en el caso de que sean usadas solo en periodos de 12h diarias.	De acuerdo con la ficha técnica, los componentes se dividen así: El panel solar tiene 25 años de vida útil. La lámpara LED tiene una vida útil de 20 años y las baterías cuentan con una vida útil de 10 años, el cual sería el gasto más recurrente luego del mantenimiento en este sistema.

Posterior a la recopilación y procesamiento de los datos obtenidos del anterior ejercicio estadístico, se procedió a implementar el proceso de análisis jerárquico (AHP).

En primer lugar, se elaboró la comparación de pares entre los 9 subcriterios seleccionados, obteniendo la matriz de decisión A:

Tabla 7 Matriz de decisión (Matriz A)

	Retorno de la inversión	Costo de instalación	Costo de materiales	Costo de mantenimiento	Generación de contaminación	Sostenibilidad	Disponibilidad de proveedores	Tiempo de entrega	Vida útil
Retorno de la inversión	1	6	2	7	1/2	1/3	7	6	1/2
Costo de instalación	1/6	1	1/5	3	1/5	1/6	3	3	1/4
Costo de materiales	1/2	5	1	6	1/4	1/5	5	5	1/3
Costo de mantenimiento	1/7	1/3	1/6	1	1/8	1/9	1/2	1/3	1/8
Generación de contaminación	2	5	4	8	1	1/2	8	7	2
Sostenibilidad	3	6	5	9	2	1	9	9	2

Disponibilidad de proveedores	1/7	1/3	1/5	2	1/8	1/9	1	½	1/6
Tiempos de entrega	1/6	1/3	1/5	3	1/7	1/9	2	1	1/6
Vida útil	2	4	3	8	1/2	1/2	6	6	1
TOTAL	9.12	28.00	15,77	47.00	4.84	3.03	41.50	37.83	6.54

Fuente: Autor

Luego, la matriz normalizada B:

Tabla 8 Matriz normalizada (Matriz B)

MATRIZ NORMALIZADA B								
0,110	0,214	0,127	0,149	0,103	0,110	0,169	0,159	0,076
0,018	0,036	0,013	0,064	0,041	0,055	0,072	0,079	0,038
0,055	0,179	0,063	0,128	0,052	0,066	0,120	0,132	0,051
0,016	0,012	0,011	0,021	0,026	0,037	0,012	0,009	0,019
0,219	0,179	0,254	0,170	0,206	0,165	0,193	0,185	0,306
0,329	0,214	0,317	0,191	0,413	0,330	0,217	0,238	0,306
0,016	0,012	0,013	0,043	0,026	0,037	0,024	0,013	0,025
0,018	0,012	0,013	0,064	0,029	0,037	0,048	0,026	0,025
0,219	0,143	0,190	0,170	0,103	0,165	0,145	0,159	0,153

Fuente: Autor

Y el vector ponderación, P:

Tabla 9 Vector Ponderación (Vector P)

VECTOR PONDERACIÓN
0,135
0,046
0,094
0,018
0,209
0,284

0,023
0,030
0,161

Fuente: Autor

Y la multiplicación de matrices AxP, dio como resultado:

Tabla 10 Multiplicación de matrices AxP

AxP
1.34968411
0.43107561
0.93054332
0.16774744
2.09061982
2.81824626
0.21217017
0.27537098
1.60880829

Fuente: Autor

Continuando con la etapa No.2 de la metodología Saaty, se verificó la consistencia de la matriz, aplicando la razón de consistencia (RC):

$$RC = \frac{\text{Indice de consistencia (IC)}}{\text{Indice de consistencia Aleatorio (IA)}} = \frac{\frac{n_{\text{máx}} - n}{n - 1}}{1.45} = \frac{0.11}{1.45} = 0.076$$

Donde para el cálculo de IC, se tuvieron en cuenta un valor de $n_{\text{máx}} = 9.884$ y $n = 9$.

Finalmente, el valor de $RC=0.076$, corrobora la consistencia de la matriz, avalando que los datos utilizados son coherentes.

Al superar esta verificación, se continuo con la elaboración de las respectivas matrices por cada subcriterio, la matriz normalizada y vector ponderación correspondiente:

➤ SUBCRITERIO No.1: Retorno de la inversión

Tabla 11. Matriz de evaluación: Retorno a la inversión

Alternativas	Convencional	Paneles fotovoltaicos	Matriz normalizada		Vector Ponderación
Convencional	1.00	1/7	0.13	0.13	0.13
Paneles fotovoltaicos	7.00	1.00	0.88	0.88	0.88
TOTAL	8.00	1.14			

Fuente: Autor

➤ SUBCRITERIO No.2: Costo de instalación

Tabla 12 Matriz de evaluación: Costo de instalación

Alternativas	Convencional	Paneles fotovoltaicos	Matriz normalizada		Vector Ponderación
Convencional	1	0.143	0.125	0.125	0.13
Paneles fotovoltaicos	7	1	0.875	0.875	0.88
TOTAL	8.00	1.14			

Fuente: Autor

➤ SUBCRITERIO No.3: Costo de materiales

Tabla 13 Matriz de evaluación: Costo de materiales

Alternativas	Convencional	Paneles fotovoltaicos	Matriz normalizada		Vector Ponderación
Convencional	1	5	0.833	0.833	0.83
Paneles fotovoltaicos	0.2	1	0.166	0.166	0.17
TOTAL	1.20	6.00			

Fuente: Autor

➤ SUBCRITERIO No.4: Costo de mantenimiento

Tabla 14 Matriz de evaluación: Costo de mantenimiento

Alternativas	Convencional	Paneles fotovoltaicos	Matriz normalizada		Vector Ponderación
Convencional	1	0.166	0.142	0.142	0.14
Paneles fotovoltaicos	6	1	0.857	0.857	0.86
TOTAL	7.00	1.17			

Fuente: Autor

➤ SUBCRITERIO No.5: Generación de contaminación

Tabla 15 Matriz de evaluación: Generación de contaminación

Alternativas	Convencional	Paneles fotovoltaicos	Matriz normalizada		Vector Ponderación
Convencional	1	0.125	0.111	0.111	0.11
Paneles fotovoltaicos	8	1	0.888	0.888	0.89
TOTAL	9.00	1.13			

Fuente: Autor

➤ SUBCRITERIO No.6: Sostenibilidad

Tabla 16 Matriz de evaluación: Sostenibilidad

Alternativas	Convencional	Paneles fotovoltaicos	Matriz normalizada		Vector Ponderación
Convencional	1	0.125	0.11	0.11	0.11
Paneles fotovoltaicos	8	1	0.89	0.89	0.89

TOTAL	9.00	1.13	
--------------	------	------	--

Fuente: Autor

- SUBCRITERIO No.7: Disponibilidad de proveedores

Tabla 17 Matriz de evaluación: Disponibilidad de proveedores

Alternativas	Convencional	Paneles fotovoltaicos	Matriz normalizada		Vector Ponderación
Convencional	1	3	0.75	0.75	0.75
Paneles fotovoltaicos	0.33	1	0.25	0.25	0.25
TOTAL	1.33	4.00			

Fuente: Autor

- SUBCRITERIO No.8: Tiempos de entrega

Tabla 18 Matriz de evaluación: Tiempos de entrega

Alternativas	Convencional	Paneles fotovoltaicos	Matriz normalizada		Vector Ponderación
Convencional	1	0.5	0.333	0.333	0.33
Paneles fotovoltaicos	2.0	1	0.666	0.666	0.67
TOTAL	3.0	1.50			

Fuente: Autor

- SUBCRITERIO No.9: Vida útil

Tabla 19 Matriz de evaluación: Vida útil

Alternativas	Convencional	Paneles fotovoltaicos	Matriz normalizada		Vector Ponderación
Convencional	1	0.142	0.13	0.13	0.13

Paneles fotovoltaicos	7	1	0.88	0.88	0.88
TOTAL	8.00	1.14			

Fuente: Autor

Finalmente, el resultado de la implementación de la metodología multicriterio AHP determinó que la alternativa de paneles fotovoltaicos es la más acertada para la situación estudiada, que, en este caso, hace alusión al uso de un mecanismo de energía renovable en un proyecto de alumbrado público.

Tabla 20 Matriz de priorización

	Retorno de la inversión	Costo de instalación	Costo de materiales	Costo de mantenimiento	Generación de contaminación	Sostenibilidad	Disponibilidad de proveedores	Tiempos de entrega	Vida útil	PRIORIZACIÓN
Convencional	0.13	0.13	0.83	0.14	0.11	0.11	0.75	0.33	0.13	0.206
Paneles fotovoltaicos	0.88	0.88	0.17	0.86	0.89	0.89	0.25	0.67	0.88	0.794
PONDERACIÓN	0.135	0.046	0.093	0.017	0.208	0.283	0.023	0.030	0.160	

Fuente: Autor

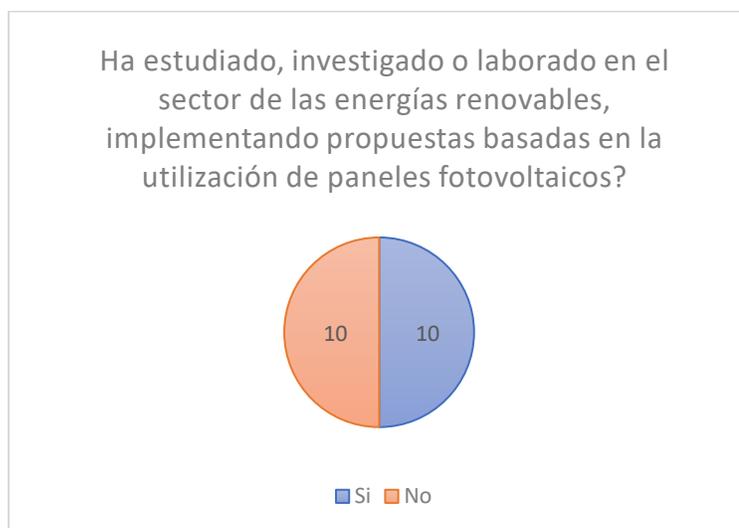
7. CONCLUSIONES

- ✓ De acuerdo a los porcentajes obtenidos al final del ejercicio de la metodología AHP, de un 79.4% frente a un 20.6%, donde los paneles fotovoltaicos superaron ostensiblemente el sistema convencional, se logró un resultado favorable respecto a la hipótesis inicial que se había planteado, donde se pretendía incentivar y promover aún más el uso de energías renovables en proyectos de infraestructura con el fin de transmitir los beneficios y ventajas que pueden alcanzar a corto y largo plazo, ya que no solo es una opción eco amigable sino que también desde el punto de vista económico tiene puntos a favor.
- ✓ Al ponderar los resultados del sondeo, se observa que existe una tendencia a otorgarle el nivel de importancia máximo a criterios como la sostenibilidad y la generación de contaminación, los cuales están ligados directamente con el uso de energías renovables y conservación del medio ambiente. Lo anterior confirma la conciencia ambiental que se ha creado en los últimos años debido al alto impacto negativo sobre el planeta a causa de la implementación de fuentes de energía como los combustibles fósiles.
- ✓ En ocasiones, los criterios seleccionados para la evaluación de las alternativas, si bien deben ser mutuamente excluyentes, estos pueden pertenecer a diferentes áreas influyentes dentro de la decisión. Es por esto, que muchas veces no son comparables de forma cualitativa o cuantitativa, por ende, antes de comenzar a otorgar valores mediante la escala de importancia de Saaty, es necesario encontrar un contexto en donde todos los criterios puedan ser comparados. De este modo, la matriz A conservará su consistencia y la priorización de las alternativas será objetiva.

- ✓ Al analizar los resultados de la matriz de decisión (Matriz A), se pudo concluir el grado de importancia que se otorgó a cada uno de los criterios, de mayor a menor, puesto que al realizar la sumatoria de los elementos $(a_{1j} + a_{2j} + a_{3j} + \dots + a_{ij})$ de cada una de las columnas de criterios, se presenta un patrón inverso, es decir entre mayor valor se obtenga en la totalización, menor es la importancia y viceversa.
- ✓ Por otro lado, es relevante mencionar que la información base con la cual se aplicó el análisis jerárquico de Saaty, corresponde al sondeo de dos grupos de profesionales: uno que cuenta con amplios conocimientos en el uso de paneles fotovoltaicos y otro grupo de personas, que a pesar de no contar con una experiencia específica en el tema de energías renovables, más puntualmente de paneles; sí cuentan con experiencia en la gerencia, construcción y control de proyectos de alumbrado público.

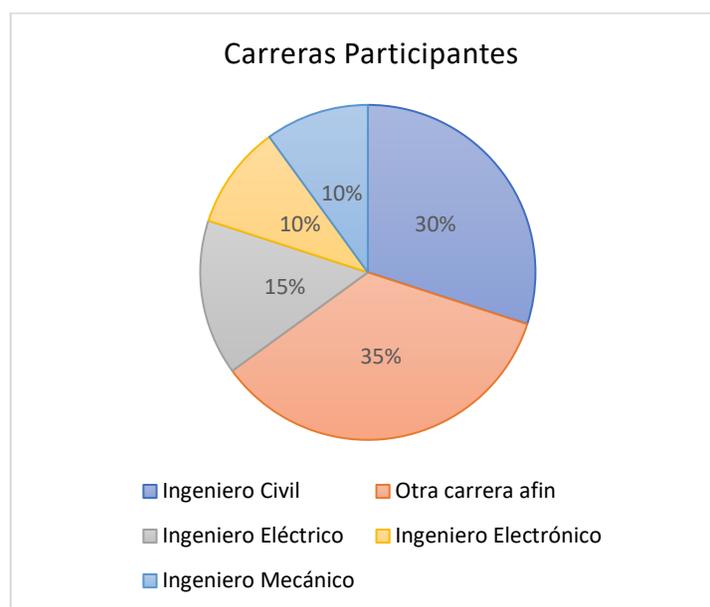
Es por ello que además se evidencia que carreras como las ingenierías predominaron el sondeo, con un 65%, mientras que el 35% restante corresponde a otras carreras a fin.

Gráfica. 2 Porcentaje de personas que cuentan con los conocimientos en la implementación de paneles fotovoltaicos



Fuente: Autor

Gráfica. 3 Carreras profesionales involucradas en el sondeo



Fuente: Elaboración propia

Las gráficas anteriores relacionadas con el resultado final del ejercicio realizado, permiten concluir que independiente de la profesión o de que se cuente o no con la experiencia en energías renovables, se ha creado una conciencia en la comunidad en general, que impacta positivamente en la implementación de otras alternativas energéticas como lo son los paneles fotovoltaicos, a la hora de planear, presupuestar y ejecutar una alternativa energética.

- ✓ Contrario a lo que algunas personas pueden percibir como falencias logísticas en el uso de energías renovables en el país, lo cierto es que en Colombia se ha consolidado aún más este gremio y variables como disponibilidad de proveedores, tiempos de entrega y variedad de productos, entre otros; actualmente no son un factor determinante para seleccionar una alternativa sobre otra, puesto que en el mercado su competitividad y oferta compite por estar a la par a las condiciones que un sistema convencional de energía ofrece. Por el

contrario, esta situación refleja que es más relevante una correcta planeación, donde factores como los anteriormente mencionados, no afecten directamente con el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Infraestructura - Oficina de Comunicaciones. (28 de Julio de 2018). GOBIERNO INAUGURA EL VIADUCTO DE LA PAZ, EL NUEVO ÍCONO DE LA INFRAESTRUCTURA COLOMBIANA. págs. 1-4.
- Berumen, S. A., & Llamazares Redondo, F. (2007). La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el ahp) en un entorno de competitividad creciente. *Cuadernos de Administración*, 65-87.
- Congreso de la República. (Octubre de 2001). *Ley 697 del 2011*. Obtenido de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0697_2001.html
- Congreso de la República. (Mayo de 2014). *Ley 1715 del 2014*. Obtenido de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html
- CREG. (Febrero de 2021). *Quiénes somos - Misión y visión*. Obtenido de <https://www.creg.gov.co/creg/quienes-somos/mision-y-vision>
- Fonroche Lighting. (13 de Junio de 2019). *La autopista “Alto Magdalena” iluminada por Fonroche*. Recuperado el 2020, de <https://www.fonroche-alumbradosolar.com/n-autopista-alumbrado-solar-colombia-197.html>
- Julián, P. P., & Ana, G. (2013). *Definición de iluminación*. Obtenido de Definición: <https://definicion.de/iluminacion/>
- Luis Fernando Andrade Moreno - Presidente ANI. (2014). ENCADENAMIENTOS E INFRAESTRUCTURA. *Colombia Genera 2014*. Cartagena.

- Masud, A. S., & Ravindran, A. R. (2008). Multiple Criteria Decision Making. En A. S. Masud, & A. R. Ravindran, *Operations Research and Management Science Handbook* (págs. 1-35). Boca Raton, FL: CRC Press Taylor an Francis Group.
- Ministerio de Minas y Energía. (Febrero de 2021). *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público*. Obtenido de RETILAP: <https://www.minenergia.gov.co/retilap>
- Ministerio de Minas y Energía. (Diciembre de 2016). *Plan de acción indicativo de eficiencia energética 2017-2022*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Documents/PAI_PROURE_2017_2022.pdf
- Nugent, D., & Sovacool, B. K. (Febrero de 2014). Assesing the lifecycle greenhouse gas emissions from solar PV and wind energy: A critical meta-survey. *Energy Policy, Volumen 65*, 229-244.
- Rodriguez Murcia, H. (2008). Desarrollo de la Energía Solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de Ingeniería - Universidad de los Andes*(28), 84-86.
- Rodríguez-Uría, M. V., Bilbao Terol, A., Arenas Parra, M., & Pérez Gladish, B. (2004). Las matemáticas como soporte de las decisiones en economía y empresa. *Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, 1-12.
- Sharfuddin Ahmed Khan, A. C. (2018). Multi-Criteria Decision-Making Methods Application in Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. En A. C. Sharfuddin Ahmed Khan, *Multi-Criteria Methods and Techniques Applied to Supply Chain Management* (págs. 1-31). Intechopen.

Toskano Hurtado, G. B. (2005). En G. B. Toskano Hurtado, *El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores* (págs. 23-43). Lima. Obtenido de Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

UPME. (Junio de 2020). Gobierno Nacional agiliza incentivos tributarios para energías renovables . pág. 2.

UPME. (Febrero de 2020). *UPME*. Obtenido de <https://www1.upme.gov.co/Entornoinstitucional/NuestraEntidad/Paginas/Quienes-Somos.aspx>

Velasco Muñoz, Á., & Salazar Calvache, Ó. (2019). Evolución de la generación de energía solar fotovoltaica en Colombia. 15.

Vicente, P., Alonso, R., & I, S. N. (2007). *Iluminación*. Obtenido de Curso de Luminotecnia: <https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/sispot/Libros%202007/libros/ie-temas/ie-19/ie-19ilu.htm>

APÉNDICE

Apéndice A Formulario utilizado para el sondeo haciendo uso de la plataforma Google Forms