UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Estudio De Factibilidad Técnica Y Económica Del Sistema De Iluminación Interior Para Túneles En La Vía Bogotá - Villavicencio Con Piezoeléctricos E Iluminación Led

Autores

Andrés Mauricio Benavides Cruz – Ingeniero de Producción.

Cesar Mauricio Cabal Fonseca – Ingeniero Industrial.

Tutor

Flor de María Umaña Villamizar

MBA Ingeniera

Enero de 2023

Universidad Distrital Francisco José De Caldas

Especialización en Gestión de Proyectos de Ingeniería

Facultad de Ingeniería

Bogotá, Colombia

CONTENIDO

Resumen 3

PALABRAS CLAVE 4

Introducción 5

1. 62.

¡Error! Marcador no definido.3.

813.1

813.1.1

823.1.2

823.1.3

¡Error! Marcador no definido.3.1.4

833.1.5

874.

925.

1276.

1317.

1398.

140anexos

16

RESUMEN

La crisis energética mundial, el calentamiento global y la alta contaminación ambiental provocada principalmente por el aumento de consumo de fuentes de energías no renovables ha llevado a los investigadores, academia y a las empresas a explorar las

tecnologías con energías limpias y alternativas, que pueda aprovechar el uso de energías disponibles en el entorno.

La energía mecánica es una de las formas más comunes de energía presente en la vida diaria (Abriata, 2013), la cual se puede aprovechar y convertir en energía eléctrica útil. La transducción piezoeléctrica es el mecanismo de recolección de energía mecánica debido a su alto factor y coeficiente de acoplamiento electromecánico y coeficiente piezoeléctrico en comparación con las transducciones electrostáticas, electromagnéticas y triboeléctricas, razón por la cual, la recolección o almacenamiento de energía a través de piezoeléctricos ha recibido mayor interés en las investigaciones. Los grandes avances que en la actualidad se han evidenciado en la fabricación de insumos, partes y piezas eléctricas y electrónicas, ha permitido la fabricación de elementos de generación de energía piezoeléctrica cada vez más eficientes, dado que estos reducen y mitigan las pérdidas de energía. Se anticipa que, en un futuro próximo, muchos dispositivos electrónicos serán alimentados por almacenadores de energía piezoeléctrica.

El presente trabajo parte con un análisis acerca esta solución energética, posteriormente presenta un estado del arte a través del cual se expone el análisis de contexto e identificación, estudio de mercado, económico, financiero, administrativo, análisis de impacto ambiental, y por último se determina la factibilidad del uso de generadores y almacenadores de energía que aprovechen el tráfico de vehículos y su energía mecánica, con el fin de suministrar energía eléctrica a los sistemas de iluminación vial en los túneles de vías con alto flujo vehícular, que permita evidenciar la viabilidad de la implementación de modelos eco-sostenibles de energías alternativas y limpias que permitan suplir una necesidad real y actual. Se resalta que la aplicabilidad no sólo se puede realizar en túneles de tránsito vehicular, sino también en diferentes modalidades de transporte y movilidad, estructuras donde circulen personas, tráfico aéreo, aprovechamiento de la circulación del agua, entre otros.

PALABRAS CLAVE

Efecto piezoeléctrico, iluminación LED, cerámico, iluminación vial, aplicaciones piezoeléctricas, transición energética.

INTRODUCCIÓN

Este documento da a conocer una alternativa de fuente de alimentación para el sistema de iluminación de un túnel que se encuentre clasificado como túnel largo y de montaña; después de evaluar el potencial energético debido a la cantidad de flujo vehicular que pase por el túnel en el cual se vaya a evaluar esta factibilidad.

En primera instancia se va realizar la búsqueda de la mayor cantidad de información en relación al uso de los piezoeléctricos para almacenamiento de energía y que esta sirva de fuente de alimentación, así como del uso de la tecnología led como sistema de iluminación, posteriormente se busca encontrar las necesidades actuales y determinar la demanda potencial, de acuerdo con esta demanda se proyectará la oferta que abarque en lo posible el total de las necesidades encontradas. La iluminación en los túneles es un aspecto crucial para garantizar la seguridad y correcta visibilidad en estas estructuras, algunos de los principales problemas de iluminación en los túneles se mencionan a continuación:

1. Falta de iluminación suficiente: Es importante que los túneles estén bien iluminados para garantizar la visibilidad y seguridad de los usuarios. Si la iluminación no es suficiente, puede haber zonas oscuras en el túnel que puedan aumentar el riesgo de accidentes.
2. Falta de uniformidad en la iluminación: La iluminación debe ser uniforme a lo largo del túnel, para evitar zonas con luz y sombras que dificulten la visibilidad.

3. Fallas en el sistema de iluminación: Los sistemas de iluminación en los túneles deben ser fiables, con un buen mantenimiento que garantice que siempre funcionarán correctamente. Si hay fallas en el sistema, puede afectar la seguridad de los diferentes actores viales que transitan por el túnel.

4. Alto consumo de energía: Los túneles que no han modernizado su sistema de iluminación, y aún cuenta con luminarias tradicionales, pueden consumir una gran cantidad de energía, lo que ocasiona que aumenten los costos de operación y mantenimiento. Por esta razón es importante la transición al uso de sistemas de iluminación eficientes y nuevas tecnologías que permitan reducir el consumo de energía.

Partiendo de estas premisas se concluye que hay un gran potencial de mercado del uso de los piezoeléctricos y la tecnología led en conjunto como alternativa de iluminación de un túnel largo y de montaña; para concretar esta hipótesis se desarrolla un análisis de mercado, diagnóstico del producto, análisis de capacidades, diseño del producto, ficha técnica y la estimación de la estructura de la organización capaz de desarrollar un proyecto de esta magnitud.

1. CONTEXTO E IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.1 ALCANCE

El trabajo a desarrollar y que se encuentra plasmado en el presente documento, tiene como propósito generar un estudio de factibilidad técnica y económica, del sistema de iluminación con luces Led, que funcione con almacenamiento energético a través de elementos piezoeléctricos, al interior de los túneles actuales de la vía Bogotá - Villavicencio, cuya calzada existente asciende a 86 kilómetros de recorrido. A través del proyecto se expone el análisis de la problemática actual a nivel nacional e internacional, se realizará un estudio de mercado que permita identificar el mercado objetivo, la demanda y oferta y a través de la construcción y desarrollo de una encuesta que será realizada a diferentes grupos de interés, con la cual se definirá la operacionalización de los factores, variables e indicadores de estudio, posteriormente se definirá la capacidad del proyecto y se proyectará un plan de ventas.

Además, se desarrollará un estudio ambiental con la información obtenida de la concesión encargada de la operación y funcionamiento de los túneles, como de la vía Bogotá – Villavicencio en general, se expondrán los resultados obtenidos al estructurar una matriz de impactos ambientales, a través de la cual se clasifican y se define un plan de acción de mitigación de cada uno de los impactos ambientales identificados.

Para determinar la factibilidad técnica del proyecto, se documentarán datos e información que permitan la generación de variables, a través de las cuales se analizará la cantidad de energía requerida para garantizar los sistemas de iluminación en los túneles, y con base en las especificaciones, fichas técnicas y eficiencia en el consumo energético se expondrán las diferentes alternativas con el análisis de factibilidad económica y financiera de las mismas; dicho análisis se realizará con indicadores de desempeño financiero como la tasa interna de retorno - TIR, el valor presente neto - VPN, y de gestión o creación de valor a través del valor económico agregado – EVA, contemplando los costos financieros, costos

asociados a los materiales, insumos, recursos, tecnología, mano de obra, maquinaria, proveedores, y demás elementos requeridos para la posible implementación del proyecto. Es importante resaltar que durante esta fase del proyecto se tendrán en cuenta todos los incentivos tributarios o demás beneficios otorgados por el estado para la implementación de proyectos de uso de energías limpias, de fuentes no convencionales o de transición energética que reduzcan la huella de carbono.

El proyecto no contempla ni los diseños o rediseños de las redes eléctricas, ni las conexiones al sistema de iluminación o de las fuentes de alimentación, tampoco contempla el detalle de las posibles obras de infraestructura a desarrollar.

A continuación, se relacionan los túneles actuales de la vía Bogotá – Villavicencio que cuentan con sistema de iluminación tradicional:

- **Túnel Argelino Durán Quintero (Boquerón):** Ubicado en el kilómetro 1+0790 - hasta el kilómetro 3+475. Tiene 2,4 kilómetros de longitud, incluyendo un túnel falso de 80 metros de largo en el portal de entrada. Cruza el Alto del Boquerón a una elevación de 3010 metros sobre el nivel del mar, con una pendiente del 2.6%, descendiendo hasta Villavicencio. Su sección geométrica tiene forma de herradura, está impermeabilizada, a partir de septiembre del 2005 y con el fin de mejorar las especificaciones, las paredes laterales están recubiertas en cerámica, lo cual genera mayor luminosidad.

- **Túnel Misael Pastrana Borrero (Buenavista):** ubicado en el kilómetro 77+790 hasta el kilómetro 82+310. Tiene una longitud de 4,52 kilómetros. Hace parte del proyecto vial que atraviesa una franja montañosa sobre el flanco este de la Cordillera oriental Andina e intercepta rocas metamórficas y sedimentarias de los períodos paleozoico inferior al terciario. Cruza varias fallas geológicas entre las cuales se destacan las de Maizaro, Mirador y Buenavista. La construcción del túnel se inició en 1995 por parte del consorcio italiano Recchi Grandi Lavori Fincosit, el cual adelantó el 25% de la excavación subterránea. En ambos contratos de construcción

se adelantaron dos frentes de obra denominados Rionegro (Bogotá–Villavicencio) y Trapiche (Villavicencio – Bogotá).

- **Túneles de Quebrada Blanca**:
  - Túnel Quebrada Blanca 1 - Ubicado desde el kilómetro 55+710 hasta el kilómetro 56+117, tiene una longitud de 407 metros.
  - Túnel Quebrada Blanca 2 - Ubicado desde el kilómetro 56+189 hasta el kilómetro 56+436, tiene una longitud de 247 metros.

- **Túnel Bijagual**: El túnel con menor longitud de los que operan actualmente en la vía Bogotá - Villavicencio, objeto del presente trabajo, está ubicado entre el kilómetro 77+352 hasta el kilómetro 77+537, cuenta con una longitud total de 185 metros.

1.2 IDENTIFICACIÓN

El 28 de abril de 2.008 el gobierno colombiano prohibió el uso de bombillas incandescentes halógenas en el país, a través de la resolución No. 18 0606 - "*por la cual se especifican los requisitos técnicos que deben tener las fuentes lumínicas de alta eficacia usadas en sedes de entidades públicas*.", por su baja eficiencia lumínica, las alternativas han surgido principalmente en el uso de bombillos ahorradores fluorescentes o la iluminación con luces Led. En el 2.014 el Ministerio de Minas y Energía tuvo a bien convocar especialistas liderados por la Asociación Nacional de Empresarios - ANDI y la Asociación Colombiana de Luminotecnia - ACDL, con el fin de revisar los avances y detalles de las propuestas de modificación a sectores especializados.

Dando pie a estas actualizaciones del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - Retilap, se han expedido ocho resoluciones hasta la actualidad, las cuales se detallan a continuación en orden cronológico:

- **Resolución 180540 de marzo 30 de 2010** - Se aclara el ANEXO GENERAL DEL RETILAP y se establecieron requisitos de eficacia mínima y vida útil de fuentes lumínicas, además de otras disposiciones transitorias para facilitar su implementación.

- **Resolución 181568 de septiembre 1 de 2010** - Se aclara y modifica el RETILAP en relación con el alcance a productos destinados a iluminación decorativa y eficacias lumínicas de algunas fuentes.

- **Resolución 182544 de diciembre 29 de 2010** - Se modifica el RETILAP con relación a ampliar la transitoriedad sobre requisitos para bombillas incandescentes y la eficacia mínima para tubos fluorescentes T8.

- **Resolución 180173 de febrero 14 de 2011** - Se modifica el RETILAP con relación a aclarar la transitoriedad sobre bombillas incandescentes.

- **Resolución 91872 de diciembre 28 de 2012** - Se aclara el RETILAP con relación al requisito de máximo contenido de mercurio y plomo en fuentes de iluminación y se aclaran algunos requisitos generales de balastos.

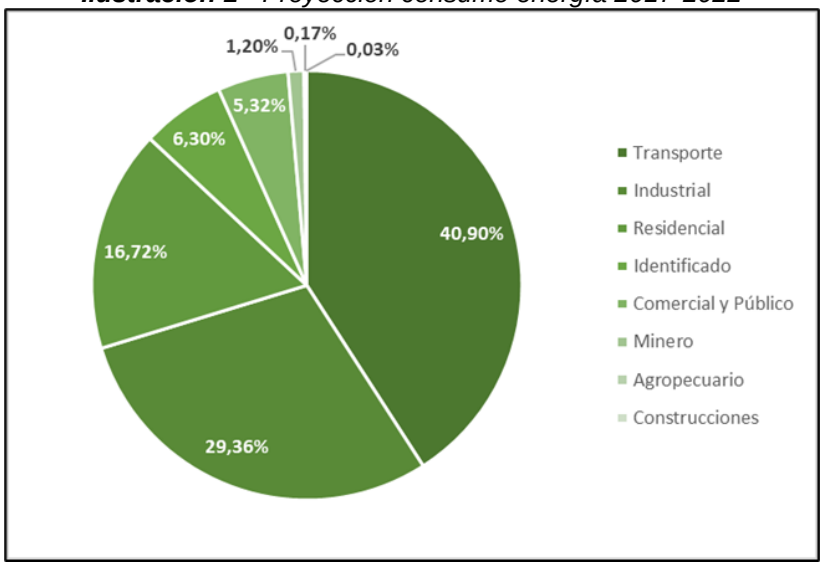
- **Resolución 90980 de noviembre 15 de 2013** - Se aclara y adiciona el RETILAP en relación a incluir aspectos relevantes del Estatuto del Consumidor así como de precisar los requisitos aplicables a luminarias decorativas y de balastos.

- **Resolución 40122 de febrero 8 de 2016** - Se adiciona y modifica en definiciones aplicables a lámparas y luminarias que usan tecnología LED, disponibilidad y acceso a información mínima de productos, extensión de plazo para el uso de tecnología incandescente halógena y flexibilización de requisitos aplicables a luminarias decorativas.

Esta última afecta directamente los productos de iluminación LED para interiores, porque incluye las diferentes regulaciones y reglamentaciones que deben tener este tipo de productos, para ser comercializados distribuidos e importados en el territorio colombiano.

A partir del año 2017 el Ministerio de Minas y Energía lanzó el plan indicativo de eficiencia energética para los años 2017 – 2022, a través del cual se relaciona el consumo energético por sectores en el país, la información se relaciona en la ilustración 1.

***Ilustración 1** - Proyección consumo energía 2017-2022*



***Fuente:** Elaboración propia con base en Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, 2017*

Cómo se logra evidenciar en la gráfica de la Ilustración 1, la mayor concentración de consumo energético del país se encuentra en el sector transporte y en el sector industrial con total del 70,2% del consumo total energético del país, sin embargo, el reporte también relaciona el sector comercial y público con un 5,32% y acota que es uno de los sectores en los que se pueden llegar a realizar mayor cantidad de mejoras tanto del servicio como de las instalaciones.

Es importante resaltar que, en el mismo informe de consumo energético del país se recomienda para los sectores construcciones, comercial y público, promover proyectos de mejora que generen eficiencia energética renovable, en cumplimiento de la Ley 1715 de 2014 – "*Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*", cuya iniciativa es incentivar la inversión al uso y transición a energías limpias, renovables no convencionales y gestión de energía eficiente con las que el gobierno nacional brinda excepciones tributarias, siempre y cuando se cumplan una serie de requisitos descritos en la misma ley.

Asimismo, se realizaron una serie de auditorías energéticas en las que participaron diferentes Ministerios, Gobernaciones, Alcaldías, Corporaciones autónomas regionales entre otros, y se concluyó que en los años de la proyección (2017 a 2022), se podría ahorrar hasta un 40% en consumo energético en los años siguientes con base a una optimización en la iluminación, aires acondicionados y equipos ofimáticos[1].

Actualmente el Gobierno Nacional promueve este cambio en la eficiencia energética, según la Banca de Desarrollo Territorial - FINDETER, se estima que el 90% de los municipios en Colombia aún utilizan tecnología antigua en sus luminarias públicas y con la modernización de las bombillas por luminarias Led podrían tener una reducción en el consumo de energía del 50%, un ahorro en costos de operación y mantenimiento del 60%, ahorros en los costos del servicio público de alumbrado con recuperación de la inversión en el mediano y corto plazo. El medio ambiente se beneficia también, por la reducción de las emisiones de CO2, reducción de gases de efecto invernadero, reducción de residuos sólidos y la mejora significativa en la calidad del medio ambiente. Lo anterior sumado al aumento de la ciudadanía en la percepción de seguridad (Banca de Desarrollo Territorial – Findeter[2]).

Se resalta también qué, las lámparas halógenas al ser menos eficientes y más contaminantes, se ha disminuido su uso en los diferentes sectores productivos, no solo a nivel nacional sino internacional, lo que ocasiona que su producción se vea bastante disminuida al igual que los repuestos e insumos de las mismas, ocasionando una vida útil más corta y produciendo más residuos peligrosos – Respel, generando una huella de carbono muy alta. En el año 2017 se publicó un estudio en el cual se relaciona la cantidad de emisiones de CO2 que se disminuyeron frente a 570 millones de toneladas de residuos de lámparas halógenas o incandescentes que salieron de uso gracias a tecnología LED, esto quiere decir analógicamente que, se puede comparar con el cierre de 162 centrales eléctricas de carbón, producto de que la tecnología Led produce la misma iluminación pero con un 40% menos de energía siendo energéticamente más eficiente (HS Markit, 2017).

[1] Plan de Acción indicativo de eficiencia energética - República de Colombia - Ministerio de Minas y Energía - MME, Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. 2016.
[2] Findeter - Banca de Desarrollo Territorial. (2022). Eficiencia Energética en Alumbrado Público, Proyecto BID GEF - FINDETER - "*Impulsando territorios para el futuro*". https://www.findeter.gov.co/alumbradopublicoled/

Esta reducción del consumo energético de acuerdo con los análisis de Findeter, del 50% se traduce para el alumbrado público en 1.932,2 GW durante el año 2018, que en costos, con la tarifa promedio de 228 $/KWh, representa una no despreciable suma de $136 mil millones de pesos al año.

Frente al contexto internacional, el mercado mundial de LED aumenta a una tasa de crecimiento anual compuesto de más del 18% durante 2017-2021, pasando de 18,51 miles de millones de dólares en 2016 a 24,67 en 2021, según Technavio, una empresa inglesa dedicada a estudios de mercado. En particular, el segmento de luminarias abarcó 14.280 millones de dólares en 2016, mientras que el segmento de iluminación general representará el 77,37% de cuota de mercado en 2021. la región de Asia y el Pacifico (APAC) crecerá un 20,56% durante el periodo previsto[3].

El rápido agotamiento de los recursos naturales y el calentamiento global han generado una necesidad indispensable para la conservación de la energía en todo el mundo. En 2016, se estimó que las aplicaciones de iluminación representaban más de 20% del consumo mundial de energía. Hay una necesidad urgente de reducir este consumo y los gobiernos de todo el mundo se están centrando en la aplicación de políticas favorables para promover el uso de productos de iluminación de bajo consumo energético.

Los gobiernos de economías establecidas, como Estados Unidos, Reino Unido, China e India se dedican a la promoción de productos de iluminación Led, proporcionando incentivos fiscales y subsidios a estos productos, dice Chetan Mohan, analista líder de investigación de iluminación (Editores, 2017).

Los piezoeléctricos son una de estas tecnologías que están en auge a nivel mundial, por ejemplo, en Israel la empresa Innowattech Ltd desarrolló un nuevo sistema de energía alternativa que recolecta y almacena la energía mecánica impartida a las carreteras, vías férreas y pistas de aterrizaje por el paso de vehículos, trenes y peatones y la convierte en

[3] Editores. (2017). "*El crecimiento mundial del mercado led*" - Smart-lighting.es. https://www.editores-srl.com.ar/revistas/lu/140/deco_mercado_led#:~:text=El%20mercado%20mundial%20de%20diodos,dedicada%20a%20estudios%20de%20mercado

electricidad verde[4]. El sistema funciona a través de generadores piezoeléctricos, que recolectan, almacenan y reutilizan la energía mecánica del tránsito en energía eléctrica.

El cambio tecnológico está creando cambios sin precedentes en las huellas del mercado de elementos piezoeléctricos. Se pronostica que este proceso se acelerará en los próximos diez años, sin embargo, es importante reconocer que las industrias de elementos piezoeléctricos están en constante cambio. Por esta razón se dará a conocer los principales competidores del mercado:

- KYOCERA
- JOHNSON MATTHEY
- CTS CORPORATION
- PI CERAMIC GMBH
- HARRIS
- FUJI CERAMICS CORPORATION
- PIEZO TECHNOLOGIES INC
- TDK CORPORATION
- MSI TRANSDUCERS
- APC INTERNACIONAL
- PIEZO KINETICS
- SPARKLER CERAMIC
- WEIFANG JUDE ELECTRONIC

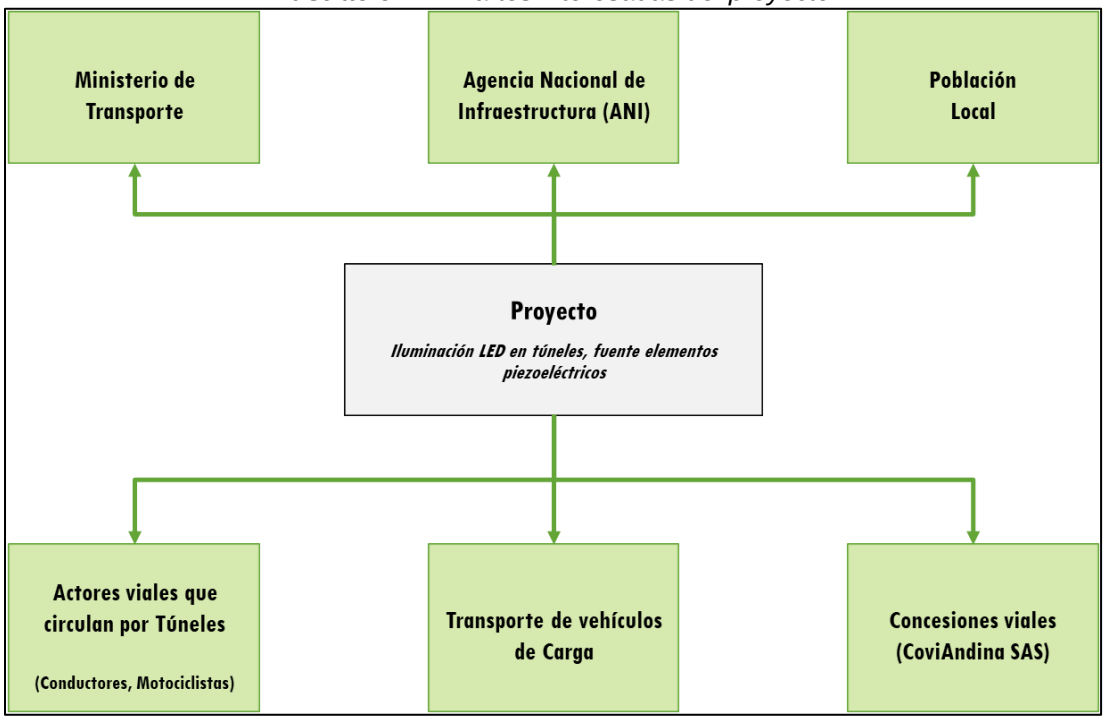
Cabe resaltar que es un porcentaje menor, se puede distinguir al alumbrado público como un importante foco para el ahorro de energía y la aplicación del uso racional de la energía o URE, ya que la demanda estimada de energía para el año 2107 está alrededor de 52.859 GWh. Este 3% se traduce en 1.600 GWh que, en costos, con la tarifa promedio de 228 $/KWh, representa la suma de $364.800 millones de pesos al año.

[4] Innowattech. (27 de 10 de 2016). Innowattech. Obtenido de www.innowattech.co.il

1.3 INVOLUCRADOS (STAKEHOLDERS)

A continuación, se identifican las partes interesadas y que pueden llegar a tener alguna relación con el proyecto, sus grados de responsabilidad y la actuación dentro del proyecto, los cuales se relacionan en la siguiente ilustración:

Ilustración 2 *- Partes interesadas del proyecto*



Fuente*: Autoría propia*

A continuación se presenta cada uno de los involucrados o partes interesadas, detallando los grados de responsabilidad y la actuación que protagonizan dentro del proyecto:

***Tabla 1** - Stakeholders del proyecto*

Stakeholder	Grado de responsabilidad	Rol en el proyecto
Ministerio de Transporte	Alto	Máximo responsable, encargado de definir, formular y regular las políticas de transporte, tránsito y su infraestructura mediante la articulación de las entidades que integran el sector.
Agencia Nacional de Infraestructura (ANI)	Alto	Hace parte del Ministerio de Transporte, que está a cargo de las concesiones a alianzas público–privadas, para el diseño, construcción, mantenimiento, operación, y administración de la infraestructura de transporte en Colombia
Concesión Vial - CoviAndina	Alto	Máximo responsable de los estudios, diseños, financiación, construcción, operación, mantenimiento, gestión social, predial y ambiental de una nueva Calzada entre Chirajara y la Intersección Fundadores, y el mantenimiento y la operación de todo el corredor Bogotá –Villavicencio
Transporte de vehículos de carga	Medio	Dado el tránsito permanente de los vehículos de carga, estos involucrados son una parte importante en el sistema de iluminación a través de piezoeléctricos, dado que los vehículos tienen mayor peso (que se convierte en energía) que el resto de actores viales que circulan. Adicionalmente se benefician con la mejora en la iluminación de los túneles.
Actores Viales	Baja	Beneficiados por la mejora en la iluminación, medio ambiente, y salud relacionado con la circulación de la vía, especialmente en los túneles. Corresponde a los diferentes actores que circulan diferente a los pobladores locales que circundan la vía.
Población Local	Baja	Beneficiados por la mejora en la iluminación, medio ambiente, y salud relacionado con la circulación de la vía, especialmente en los túneles.

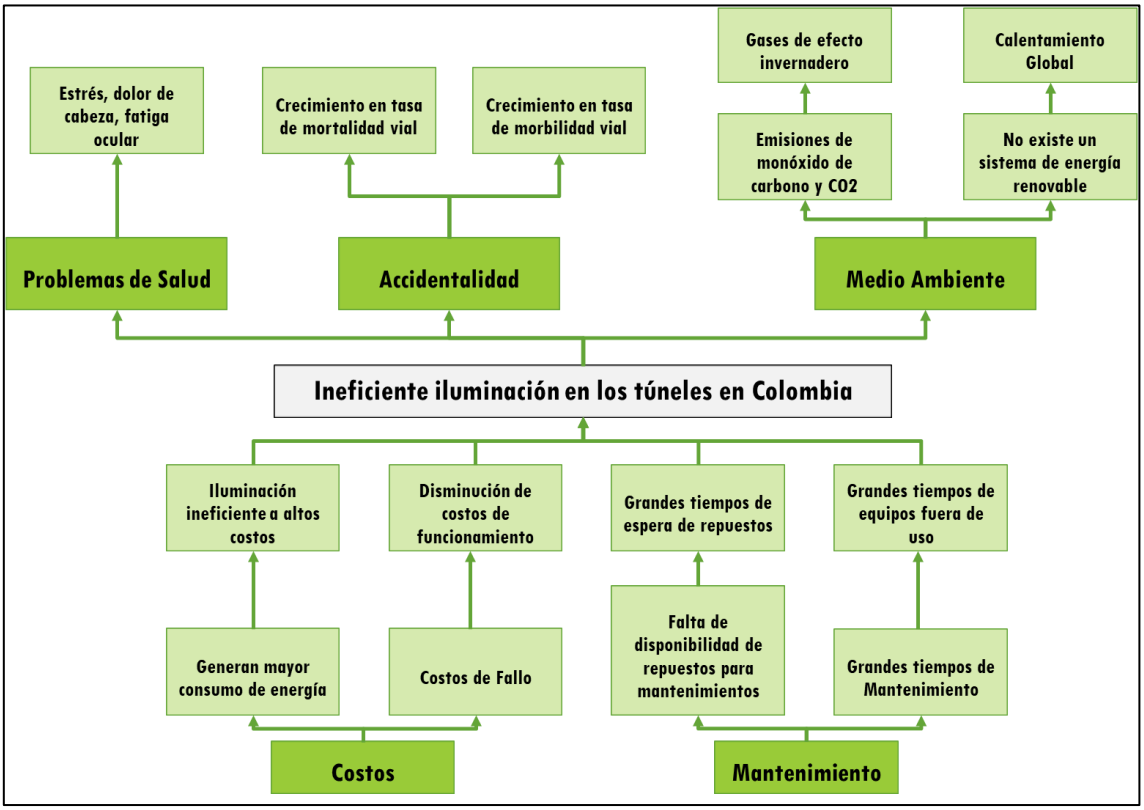
***Fuente**: Autoría propia*

1.4 ÁRBOL DEL PROBLEMA

En la siguiente gráfica se identifican los problemas que se evidencian en la actualidad con el sistema de iluminación tradicional presente en los túneles de la vía Bogotá - Villavicencio, los cuales se clasifican en 5 aspectos diferentes:

- Problemas de salud
- Accidentalidad
- Medio Ambiente
- Costos
- Mantenimiento

Ilustración 3 *- Árbol del Problema*



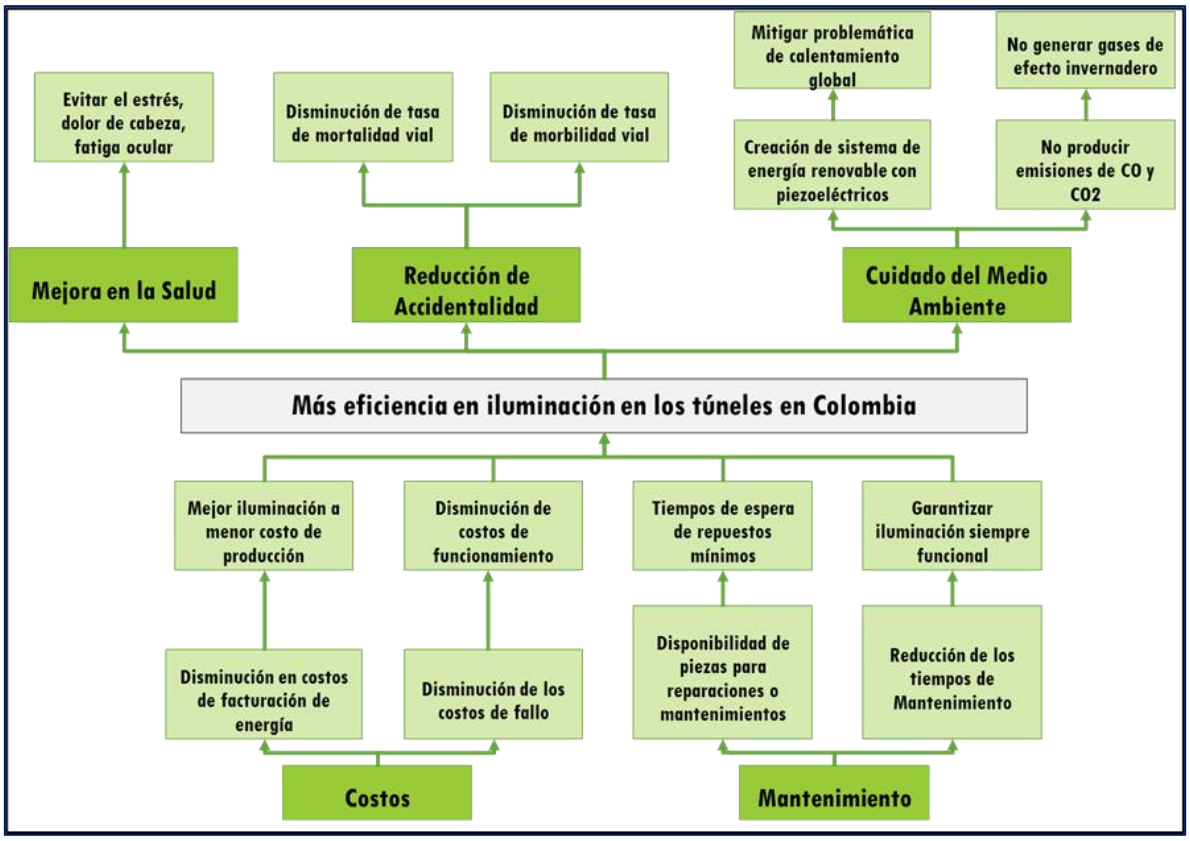
Fuente*: Autoría propia*

En los puntos claves del problema se evidencia que existe un contrato con una empresa española la cual abastece la iluminación de los túneles (lámparas halógenas), este se presenta como un problema para el mantenimiento de la iluminación, al igual que el impacto ambiental que genera la actual iluminación entre los más relevantes.

1.5 ÁRBOL DE SOLUCIONES

En la siguiente gráfica del árbol de soluciones, a través de la aplicación de la metodología de marco lógico, se detallan las posibles soluciones con la cuales se mitigan los problemas presentados en la gráfica anterior.

Ilustración 4 *- Árbol de Soluciones*



Fuente*: Autoría propia*

1.6 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente las vías del país cuentan con una extensión de carretera de 205.745 kilómetros viales construidos, de los cuales el 9% (18.323 Km) corresponde a red primaria, es decir a cargo de la nación, el 22% (45.137 km) a la red vial secundaria a cargo de los departamentos, y el 69% (142.284 km) a vías terciarias, es decir a cargo de los municipios. De los 18.323 kilómetros de la red primaria, el 59% (10.840 Km) es administrado por el Instituto Nacional de Vías - Invías y el 41% (7.484 Km) es administrado por la Agencia Nacional de Infraestructura - ANI, bajo contratos de concesión. La red secundaria se encuentra en su totalidad bajo administración departamental y de los 142.284 kilómetros de la red terciaria, el 71% (100.748 Km) es administrado por los municipios, 10% (3.959 Km) bajo administración departamental y el 19% (27.577 Km) es administrado por la nación a través de Invías[5].

Aunado a lo anterior, el país cuenta con un total de 165 túneles, es bien sabido que para el desarrollo de la economía de la nación es necesaria la construcción de obras viales, carreteras, proyectos de servicio público y otras obras de ingeniería civil, tales como los túneles dada la geografía montañosa del país, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, la construcción de obras de ingeniería civil es una actividad económica que incide en el crecimiento y desarrollo de la nación, dado que la actividad económica de construcción en el tercer trimestre de 2022 tuvo un crecimiento del 13,4% con respecto al mismo periodo de 2021[6]. El 11% del total de los túneles del país (19 túneles) se encuentran en la vía Bogotá - Villavicencio, y de acuerdo con el boletín de Tráfico No. 3 de la ANI a través del cual se presentan las cifras y estadísticas de los peajes del país, se puede evidenciar un alto y constante flujo vehicular a lo largo del año, para el año 2017 en total circularon 4’119.438 vehículos (3’035.204 vehículos livianos y

[5] Ministerio de Transporte - Mintransporte - “*Transporte en cifras 2021 - Anuario Nacional de Transporte*”. 19 de julio de 2022.
[6] Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE - “*Boletín Técnico - Producto Interno Bruto (PIB) - III Trimestre de 2022*”. 15 de noviembre de 2022.

1’084.234 vehículos pesados o de carga), es decir, en promedio al día circulan más de once mil vehículos, de los cuales cerca del 26% son vehículos de carga o pesados[7].

En la actualidad, la mayor parte de los túneles cuentan con iluminación tradicional, es decir con lámparas de mercurio y sodio, dicha situación también se presenta en la iluminación exterior (alumbrado público), lo cual hace que el consumo energético sea más alto, dado que dicha tecnología es menos eficiente que las nuevas tecnologías el lámparas e iluminación. Por lo general, como cualquier objeto al cumplir un determinado tiempo de uso, se hace necesaria la realización de mantenimientos preventivos y correctivos, ya sea por cambio o daños en bombillo, fotoceldas, acometidas o arrancadores; para ejecutar la reparación o los mantenimientos, se hace necesario contar con inventario de insumos o piezas. “*A partir del 1 de septiembre, las clásicas bombillas incandescentes ya no se podrán fabricar ni importar en la Unión Europea (UE). Y no serán las únicas. Hasta septiembre de 2016 se continuará con la retirada progresiva de los demás modelos de mayor derroche energético, para sustituirlos por otros más eficientes*”[8]. A pesar de que estas lámparas ya no son las más eficientes en su campo, se entiende que existe una gran cantidad de ellas a nivel nacional, generando un mayor consumo de energía y un menor rendimiento en comparación con otros tipos de iluminación, adicional a esto, las lámparas de sodio alumbran en tono amarillo, y esta luz amarilla es menos energética (fotón por fotón) que algunos de los fotones de la luz blanca. Pero nuestros ojos están adaptados a la luz blanca.

El sol emite luz blanca, si iluminamos algo con luz amarilla, estaremos perdiendo información de color y el color es algo que nos aporta información adicional, de tal manera que no es recomendable mantener estas lámparas de sodio que aparte de su descontinuación, generan calor, un consumo energético más alto, y no emiten un color idóneo para el tránsito a través de los túneles. El problema visual al ingresar a un túnel luego de que la visión del conductor este adaptada a cierto nivel de luminancia ambiente,

[7] Agencia Nacional de Infraestructura - ANI - “*Boletín de tráfico No. 3. 2016 - 2017*”. (2018). https://www.ani.gov.co/sites/default/files/boletin_de_trafico_no_3.pdf

[8] Eroski - Consumer. “*El fin de las bombillas incandescentes*”. (2016). https://www.consumer.es/medio-ambiente/el-fin-de-las-bombillas-incandescentes.html

genera un contraste que puede terminar en un accidente, a este fenómeno se le conoce como agujero negro.

Con base en la información anterior, el presente trabajo busca resolver la siguiente pregunta: ¿Es factible técnica y económicamente realizar el cambio de los sistemas tradicionales de iluminación en los túneles de la vía Bogotá - Villavicencio por unos más eficientes aprovechando el flujo vehicular y los elementos piezoeléctricos como almacenamiento y fuente de energía?

1.7 BENEFICIOS

Los beneficios del proyecto a obtener son: contar con una base técnica y financiera de un proyecto que pueda beneficiar a la población de Colombia que transite por los túneles de la vía Bogotá - Villavicencio, en términos de salud, iluminación, mejora ambiental y de optimización en la destinación de presupuesto público en los costos de funcionamiento de iluminación vial, los cuales se reflejarían de manera inmediata e impactaría positivamente a los diferentes actores viales que circulan por estos tramos viales en los que hay túneles.

1.8 RESPONSABLES

Los responsables del proyecto son Andrés Mauricio Benavides Cruz y Cesar Mauricio Cabal Fonseca, quienes están encargados de realizar un estudio riguroso y objetivo frente a la factibilidad técnica y económica de un nuevo sistema de iluminación con luces tipo LED (siglas en inglés de light-emitting diode - diodo emisor de luz), teniendo como fuente de energía los elementos piezoeléctricos que permiten generar y almacenar la energía convertida de mecánica a eléctrica.

1.9 A QUIÉN SE ENTREGA

El proyecto se entrega en primer lugar, a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas como proyecto de grado de la Especialización en Gestión de Proyectos de Ingeniería y que haga parte del Repositorio Institucional de la Universidad Distrital - RIUD, así mismo, a la

Concesionaria Vial de los Andes S.A.S. - Coviandes S.A.S, concesión encargada de la construcción, modificación y mantenimiento de la infraestructura vial en la vía Bogotá D.C. - Villavicencio, y a la sociedad en general a través de una propuesta que desde la academia genere mayor eficiencia en el uso de recursos y reducción del gasto público, que permita optimización en la asignación de los recursos públicos de manera más eficiente, garantizando mayor transparencia en el uso del presupuesto del estado y mejorando la confianza de las personas en las instituciones.

1.10 MARCO REFERENCIAL

A continuación, se relacionan las diferentes investigaciones, estudios y proyectos relacionados con el uso de piezoeléctricos y los sistemas de iluminación con Leds.

"OPTIMIZACIÓN EN SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN TÚNELES DE FAJA TRANSPORTADORA", Quispe Pilco John, 2019. Arequipa - Perú.

Es bien sabida la necesidad de una adecuada iluminación que permita a las personas ejecutar una acción donde mantengan un estándar de seguridad y no genere repercusiones de salud en las mismos, en este proyecto se plantea una solución a dicha problemática, en la cual el autor de la monografía presenta una opción de mejora a través del cambio a iluminación LED, en este trabajo presenta los beneficios de la luz LED, como un menor consumo de energía y una mejor visibilidad para los usuarios y actores viales, adicional se presentan los beneficios referentes al medio ambiente. En el trabajo se realiza un marco teórico a través del cual se tienen en cuenta las posibles soluciones a la problemática, los equipos necesarios y requeridos, se tiene en cuenta la población objetivo y las diferentes metodologías para medir la iluminación, aquí se determina la cantidad de lúmenes adecuada para que el usuario pueda ejecutar las acciones en el tramo de manera eficiente, teniendo en cuenta su salud y seguridad. Posterior a ello se realiza el cálculo para saber la cantidad de lámparas led que se requieren por metro cuadrado y se escoge la referencia recomendada, para así finalmente presentar los resultados, donde se evidencia una disminución con iluminación LED de consumo total de corriente, pasando de 51,04

amperios con la iluminación anterior, a 16,38 amperios con iluminación LED. También el cambio en la eficiencia y calidad de la iluminación, ya que la potencia en lux de las lámparas anteriores era de 370 lux y las de tecnología Led son de 500 y 750 lux, lo que permite tener una mejora notable en la visibilidad.

"EL USO DE PIEZOELÉCTRICOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA SOSTENIBLE COMO PROYECTO PILOTO EN UN PERFIL VIAL DE BOGOTÁ", Diego Tamayo, Natalia Cardozo, 2017. Bogotá D.C.

En la búsqueda de alternativas de energía renovable y eficiente que mitiguen emisiones que impactan en diversos factores, como el calentamiento global, se generan las tecnologías de los piezoeléctricos las cuales permiten generar su propia energía sin necesidad de tener una fuente de energía externa, este se genera mediante la presión que se realiza sobre una superficie y convierte dicha fuerza de gravedad ejercida sobre la masa en corriente eléctrica; en esta tesis los autores proponen la viabilidad de instalar piezoeléctricos en la ciudad de Bogotá, teniendo en cuenta la gran circulación tanto peatonal como de vehículos, se puede aprovechar la gran cantidad de energía y que esta sería de bajo impacto ambiental. Los autores del proyecto realizaron el análisis de los elementos necesarios para implementar el sistema piezoeléctrico en un perfil transversal vial en Bogotá, a través de la búsqueda de información del sistema, el proceso de instalación y su correspondiente análisis, impactos y beneficios ambientales, técnicos y económicos.

En este texto se logró identificar la viabilidad económica del proyecto, en el cual la instalación en dos puntos de la ciudad tiene un costo total del piezoeléctricos y de obra civil por valor de $322.818.033,72, con un tiempo de retorno de la inversión de 4 años y 8 meses. Adicionalmente el piezoeléctrico según el texto, tiene una vida útil de 30 años, lo que generaría un saldo a favor de $1.523.033.628, descontando el valor de los mantenimientos. En conclusión, no solo es viable económicamente, sino también es una fuente de energía limpia, renovable que permite ser eficiente mientras se mitiga el efecto invernadero y se contribuye con la responsabilidad social.

"FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE IMPLEMENTAR UN SISTEMA ENERGY HARVESTING CON GENERADORES PIEZOELÉCTRICOS, EN UNA ZONA DE ALTO TRÁFICO VEHICULAR DE LA CIUDAD DE CALI" Francisco Quintero, Pablo Fernández, 2017 Cali.

El objetivo de este documento es encontrar ciertos escenarios con unas características específicas para poder realizar la evaluación del potencial energético, perfilar su flujo vehicular, realizar la simulación y determinar la viabilidad de implantar el sistema energy harvesting con base de piezoeléctricos, por último, realizar una estimación de costos unitarios de obra civil y eléctrica para la construcción del sistema.

"PROPUESTA DE UNA ALTERNATIVA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL EDIFICIO EL CUBO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ", Rey Leidy, Poveda Daniela, 2019 Bogotá.

A través del análisis de la iluminación en los diferentes espacios en que pueda llegar a transitar un usuario en un edificio, se presenta en el trabajo un caso de éxito, en el cual las autoras de la propuesta presentan una problemática referente a la iluminación del edificio el Cubo en la ciudad de Bogotá D.C., se expone que no existe una eficiencia energética referente a la iluminación del lugar, se realizan una serie de mediciones en las diferentes áreas del edificio el cubo (Jardín infantil, Piscina, Gimnasio, oficinas y bolera) en las cuales el consumo energético era más alto y no contemplaba si dicho consumo energético es necesario para el uso de dichas áreas. Adicional a ello, se evidencia que el consumo de energía es en promedio 140 MWh mensual, lo que genera una facturación mensual estimada de $63,618,451, luego de un estudio de 3 posibles soluciones en las que se encuentra un sistema de iluminación de paneles solares, sistema de iluminación fotovoltaica y el cambio a iluminación LED, se concluyó que la mejor opción es un cambio a iluminación Led, dado que este tipo de iluminación genera menor consumo energético, aprovechando un 90% de su energía para producir luz, el tiempo de vida es de 10 veces mayor que los sistemas de iluminación convencionales. Para el estudio de rentabilidad, se presenta que el costo de inversión es de $674.783.904, sin embargo, la tasa interna de retorno - TIR es del 49% en 17 años de uso o aprovechamiento, con un retorno de la inversión de 2 años, por otra parte, el indicador de valor presente neto - VPN refleja un ahorro de $3.300.024.463

para los 17 años de vida útil de las luces led, se puede evidenciar la posible mejora al realizar el cambio de iluminación propuesto.

"ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA, AMBIENTAL Y ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO DE RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DEL SISTEMA CONVENCIONAL DE ILUMINACIÓN PÚBLICA A SISTEMA FOTOVOLTAICO Y LUZ LED, EN EL MUNICIPIO DE GUATAVITA", CUNDINAMARCA, González Sara, Cuellar Juan, 2017 Bogotá.

Las zonas rurales de Colombia tienen grandes deficiencias en muchos de los recursos básicos, la iluminación es uno de ellos. Los autores del estudio de viabilidad técnica, ambiental y económica exponen una problemática con respecto al alumbrado público debido a su inadecuada provisión del servicio de iluminación, dado que la infraestructura actual en el sistema de iluminación se da a través de lámparas de vapor de sodio, lámparas de mercurio y lámparas incandescentes, las cuales requieren para su funcionamiento altos consumos de energía. También presentan una solución, al realizar una renovación tecnológica a iluminación fotovoltaica y LED. Lo primero que se plantea en el trabajo son una serie de tecnologías que puedan suplir las necesidades, y para la selección de la correcta se utiliza el método scoring (en el cual se determina una serie de características y posteriormente se da una calificación o ponderación cuantitativa a cada una de estas, para que de esta manera se logre determinar la mejor alternativa), luego se evidencia la mejora en el impacto ambiental que se obtiene a través del manejo adecuado de la iluminación, se especifica qué, los impactos ambientales más fuertes están la generación de emisiones de monóxido de carbono, emisiones de Co2 debido a la combustión producida y temperatura, estos son producidos por las lámparas tradicionales, dichas emisiones se disminuirían al realizar el cambio por luces Led en hasta en un 50%.

"DISEÑO Y PROPUESTA ECONÓMICA PARA LA ILUMINACIÓN LED DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LA AVENIDA CALLE 13", Henao Angelica, Arias Diego, 2018 Bogotá

Se sabe que en algunos lugares de la ciudad de Bogotá la iluminación no es la adecuada, esto genera una serie de situaciones sociales tales como percepción de inseguridad,

accidentes de tránsito, entre otros, por esta razón los autores mediante el diseño y propuesta plantean que, para un sector del centro de la ciudad de Bogotá D.C., específicamente en un tramo de 6 km por la avenida de la calle 13 se realice la transición a iluminación Led. En este trabajo se hace una investigación en tres factores, basados en el Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público - RETILAP, 1) Con respecto a la luminancia, 2) con respecto a la uniformidad de la iluminación y su calidad, y 3) analizan el efecto de deslumbramiento. El trabajo concluye qué, con la infraestructura que actualmente se tiene en esta vía no es posible el cumplimiento de estos 3 factores según los estándares normativos. Además, el estudio presenta también un beneficio económico, con la transición a iluminación Led, ya que al inicio del proyecto se tienen costos de inversión más altos, pero el proyecto adquiere rentabilidad cuando se contempla la vida útil del nuevo sistema de iluminación con Leds, al proyectar esta tecnología a 30 años, se presenta un ahorro o reducción en costos de consumo energético en un estimado de $10.000.000 mensuales, adicional a la reducción en los costos de mantenimientos, partes e insumos.

"INVESTIGACIÓN SOBRE LA SUPERVISIÓN DE LA SALUD DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED", Caihong Ding, Tianyu Zhang, 2016 DongHua Shanghai - China.

Este trabajo de investigación presenta un método práctico de un mantenimiento predictivo, el cual se basa en la construcción permanente de una curva de relación entre la vida útil de los Leds y la temperatura de la unión, tomando como referencia los parámetros en el momento de la fabricación; este monitoreo y transmisión de datos lo realizan mediante una tecnología inalámbrica llamada Zigbee. El monitoreo inteligente es un método útil para optimizar la eficiencia del mantenimiento y reducir los costos de la operación y funcionamiento del sistema de iluminación Led, con distribución dispersa y gran cantidad de Leds. Este trabajo plantea una propuesta sencilla y eficaz para el monitoreo de la vida útil de los Led, basado en la relación entre la vida del Led y los parámetros eléctricos de entrada, este sistema de monitoreo inteligente se presenta como una opción relativamente fácil de construir, integrando el circuito de muestreo de los parámetros eléctricos de entrada en el controlador del Led, procesando y analizando los datos que se muestran en el lado de la salida del controlador Led y luego se transmiten a un equipo de cómputo que almacene

los datos, para así poder a través de un software de análisis de forma inalámbrica, automática y en tiempo real garantizar dicha eficiencia.

"*UN MODELO DE LED PARA LA ILUMINACIÓN DE CALLES, SIMULACIONES Y MEDICIONES". Valentín Dogaru, Florian Ion, Simposio internacional de temas avanzados en ingeniería eléctrica, 9 de mayo de 2015. Bucarest-Rumania*.

Este artículo contiene información de una serie de modelos de sistemas de iluminación con Leds, construidos a partir de mediciones de corriente y tensión. Posteriormente se determinan sus ecuaciones características y se ingresa al simulador para realizar su respectiva comparación y determinar cuál es el modelo más beneficioso para el alumbrado público. El objetivo de este trabajo es encontrar el mejor modelo Led, a través de simulaciones para el alumbrado público. Los modelos con tecnología Led tienen tres parámetros: V-LED, I-LED y R-LED. Se obtienen los tres modelos, el primero extraído de las características I-V dada por fabricante, el segundo hecho por mediciones propias y el tercero se obtienen de mediciones promedio de una muestra de varios Leds, posteriormente se hacen las simulaciones y las respectivas conclusiones.

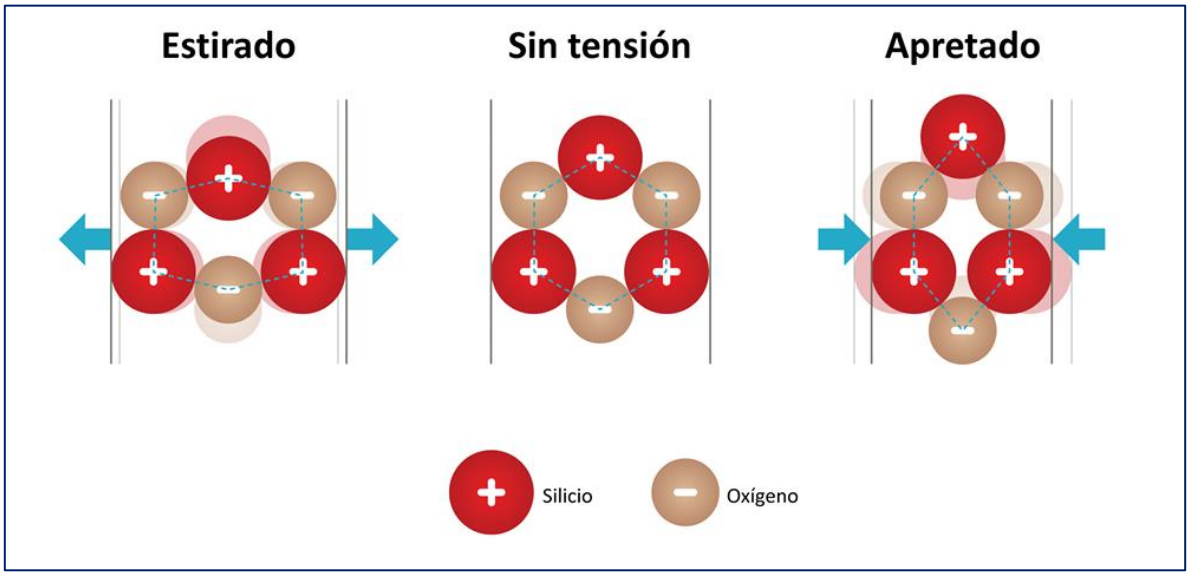
1.11 MARCO CONCEPTUAL

EFECTO PIEZOELÉCTRICO:

Los materiales piezoeléctricos pueden convertir la tensión mecánica en electricidad, y la electricidad en vibraciones mecánicas. El cuarzo es un ejemplo de un cristal piezoeléctrico natural. En el cuarzo, los átomos de silicio tienen una carga positiva y los átomos de oxígeno tienen una carga negativa. Normalmente, cuando el cristal no está bajo ningún tipo de estrés externo, las cargas se dispersan uniformemente en las moléculas a través del cristal. Pero cuando el cuarzo se estira o exprime, el orden de los átomos cambia ligeramente. Este cambio causa que las cargas negativas se acumulen en un lado y las cargas positivas se acumulen en el lado opuesto. Cuando se construye un circuito que conecte en un extremo del cristal con el otro, se puede utilizar esta diferencia potencial para producir corriente.

Entre más se comprime el cristal, más carga tendrá la corriente eléctrica. Por el contrario, enviar una corriente eléctrica a través del cristal cambia su forma.

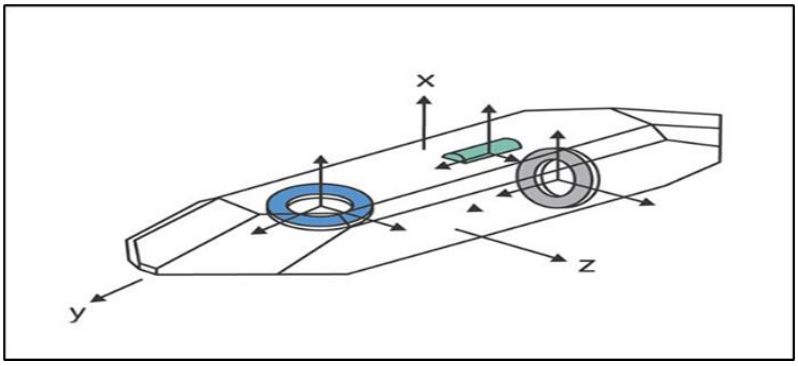
Ilustración 5 *- Efecto piezoeléctrico*



Fuente: *NanoDays - The Biggest event for the smallest science - https://www.nisenet.org/sites/default/files/catalog/uploads/spanish/12194/electricsqueeze_images_13nov13_sp.pdf*

La piezoelectricidad es un fenómeno mediante el cual, un cristal que, al estrujar, apretar u oprimir, genera cargas eléctricas (Diego Tamayo, Natalia Cardozo, 2017 Bogotá.), este proviene del prefijo "*piezo*". El efecto piezoeléctrico proviene del griego antiguo "*piezein*": presionar; las propiedades de dicho fenómeno se conocieron por primera vez a finales del siglo XVIII, descubierto por Jacques y Pierre Curie, realizando un estudio sobre la compresión del cuarzo. Al someterlo a la acción mecánica de la compresión, las cargas de la materia se separan. Esto propicia una polarización de la carga, lo cual causa que se generen chispas. Asimismo, se evidencio que si se genera una presión en el eje central del elemento, se produce un flujo de electrones hacia un extremo y una carga negativa posterior, de la misma manera hacia el extremo opuesto ocurría el efecto contrario se producía una carga positiva.

Ilustración 6 - Estructura de piezoeléctrico



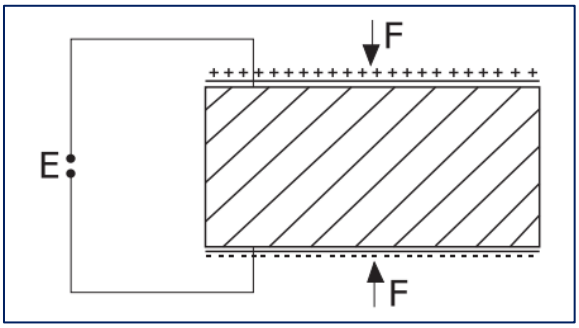
***Fuente**: KISTLER. Efecto piezoeléctrico. https://www.kistler.com/es/glosario/termino/efecto-piezoelectrico/*

Dependiendo de la dirección de la fuerza ejercida o de la posición relativa a los ejes polares del vidrio, el efecto piezoeléctrico se produce longitudinalmente (en la dirección de la fuerza), a través de él o en ángulo como un efecto de tijera.

Con el transcurso de los años mediante la investigación que se generaba continuamente alrededor del efecto piezoeléctrico se encontró la que dicho efecto era reversible como lo indica Castellanos: "*El efecto piezoeléctrico inverso consiste en la deformación mecánica que sufre un cristal piezoeléctrico al que se le aplica un campo eléctrico. Se puede decir que este sistema se comporta como un condensador donde el dieléctrico es el material piezoeléctrico*".

La siguiente imagen demuestra el efecto piezoeléctrico inverso, en el cual se identifica como reacciona un cristal al tener contacto con un campo eléctrico, de esta manera se genera la compresión en las caras del cristal que produce energía.

***Ilustración 7** - Efecto piezoeléctrico inverso*



***Fuente:** Castellanos, N. (2013). Evaluación preliminar del uso del efecto piezoeléctrico para generación de energía. INVENTUM.*

Esta tecnología se ha utilizado durante muchos años para distintos campos de aplicación, sin embargo, en los últimos 50 años ha tenido un interés particular, debido a los inconvenientes de impacto ambiental, generados por el calentamiento global o bien llamado efecto invernadero, así como también, la motivación de las políticas de transición a energías limpias que ha sido motivada por las naciones. En búsqueda de soluciones para mitigar el impacto ambiental, se ha implementado esta tecnología en el ámbito de la ingeniería, según Tamayo, Cardozo: *"el uso de este fenómeno, se centra en los actuadores piezoeléctricos de alto rendimiento, los cuales son unos dispositivos capaces de utilizar los cambios de presión producidos por las vibraciones y el movimiento para realizar la transformación de la energía y obtener electricidad*", claro está que también es posible que se implemente en aeropuertos, calles, vías férreas y demás, generando un beneficio considerable en los consumos energéticos. Para nuestro caso, se debe tener en cuenta que lo que intentamos aprovechar es la fuerza o presión que ejerce una rueda de un vehículo sobre el asfalto, lo que generaría una contracción en el piezoeléctrico que se encuentra bajo el mismo, produciendo energía.

A continuación, se puede validar la cantidad de energía que puede producir y las condiciones para que se realice el proceso:

***Tabla 2** - Resultados del sometimiento de la celda piezoeléctrica experimental a diversas fuerzas*

Fuerza (Kilogramos fuerza)	Tiempo: 0,5 segundos	
	Voltaje (voltios)	Corriente (miliamperios)
1	0.6	24.19
10	5.67	226.80
20	13.46	538.27
30	19.43	777.17
40	24.34	973.73
50	31.15	1245.89
60	36.44	1457.57
70	42.94	1717.63
80	49.29	1971.65
90	56.85	2274.05
100	68.19	2727.65

***Fuente:** Castellanos, N. (2013). INVENTUM.*

Cómo se logra validar en la tabla el piezoeléctrico es un objeto cuya función al convertir energía mecánica a eléctrica es muy eficiente, al producir más fuerza, este genera un voltaje mayor y por tal razón una cantidad considerable de corriente.

Estos elementos tienen las siguientes características:

- Efecto piezoeléctrico: Los elementos piezoeléctricos tienen la capacidad de convertir la energía mecánica en energía eléctrica y viceversa.
- Alta sensibilidad: Los elementos piezoeléctricos son altamente sensibles a cambios en la presión mecánica, lo que los hace ideales para aplicaciones de medición y detección de vibraciones.
- Amplio rango de frecuencia: Los elementos piezoeléctricos pueden operar en un amplio rango de frecuencias, desde bajas hasta altas frecuencias, lo que los hace adecuados para una variedad de aplicaciones.

- Bajo costo de fabricación: Los elementos piezoeléctricos son relativamente fáciles y económicos de fabricar en comparación con otros tipos de generadores de energía.
- Durabilidad: Los elementos piezoeléctricos son resistentes a la corrosión y a la degradación debido a su estructura cristalina, lo que los hace duraderos y confiables.
- Fácil de integrar: Los elementos piezoeléctricos son fáciles de integrar en diferentes dispositivos y sistemas.

Baja potencia: Los elementos piezoeléctricos suelen generar potencias bajas, si bien es posible generar mayores potencias mediante el uso de varios elementos piezoeléctricos conectados en serie o en paralelo

ENERGÍA:

Es definida como la capacidad de generar movimiento, trabajo y calor, adicionalmente se considera un componente básico del entorno. Se encarga de conservar unidos los átomos y partículas subatómicas que componen la materia. Pueden detallarse diversos tipos de energía, según el campo de estudio. La energía mecánica es la combinación de energía cinética y energía potencial. Asimismo, es indispensable conocer éstos términos, los cuales se presentarán a continuación:

ENERGÍA MECÁNICA:

La energía mecánica de un cuerpo es la capacidad que tiene de realizar un trabajo mecánico, es decir, de producir un movimiento.

ENERGÍA CINÉTICA:

"*La energía cinética, en su definición más breve, es la energía que posee un cuerpo a causa de su movimiento. Se trata de la capacidad o trabajo que permite que un objeto pase de estar en reposo, o quieto, a moverse a una determinada velocidad*" (Universidad de Valencia, 2018). Se puede decir que es la transición de un cuerpo en reposo a tener un movimiento.

ENERGÍA POTENCIAL:

Se trata de energía en potencia, es decir, que puede ser transformada inmediatamente en otras formas de energía, como la cinética, por ejemplo. Este tipo representa la energía almacenada, dada su configuración o su posición, por tanto, para medirla debe tomarse en cuenta un punto o una configuración de referencia.

EFICIENCIA ENERGÉTICA:

El concepto de eficiencia energética hace referencia a la capacidad para obtener los mejores resultados en cualquier actividad, empleando la menor cantidad posible de recursos energéticos. Nos permite reducir el consumo de cualquier tipo de energía y con ello los posibles impactos ambientales asociados a ella. Esto es aplicable, desde la generación de dicha energía, hasta su consumo final. Los beneficios asociados a la eficiencia energética son: ahorro de energía y costos, disminución del impacto al medio ambiente y mejoras en el abastecimiento a través de la optimización del uso de recursos, fomentando con ello el consumo responsable. (Unidad de planeación minero energética - UPME, 2018)

LUZ LED:

Proviene de las lámparas que usan tecnología Led (palabras en inglés: *light - emitting diode*, que traducen: diodo emisor de luz). Se trata de un cuerpo semiconductor sólido de gran resistencia que, al recibir una corriente eléctrica de muy baja intensidad, emite luz de forma eficiente y con alto rendimiento. Un diodo, a su vez, es una válvula de dos electrodos que permite el paso de la corriente eléctrica en un único sentido. En comparación a fuentes luminosas fluorescentes o incandescentes, los leds resultan ser más convenientes, ya que tienen una mayor vida útil, consumen menos energía, son más pequeños, y tienen muchos más usos prácticos[9].

[9] Definición.de - “Definición de LED”. (2022). https://definicion.de/led/

PRESIÓN:

Es el cociente entre la componente normal que tiene una fuerza sobre una superficie y el área de esta superficie.

VIABILIDAD:

La viabilidad en un proyecto se refiere a la capacidad de éste para ser llevado a cabo con éxito. Se evalúa mediante la consideración de factores como la disponibilidad de recursos, la factibilidad técnica, la rentabilidad económica, la viabilidad jurídica y la viabilidad social. Si un proyecto es viable, significa que se puede realizar con los recursos disponibles, es técnicamente factible, es rentable y cumple con las regulaciones y las expectativas de las partes interesadas. Para la evaluación de un proyecto, es necesario reconocer los análisis de viabilidad que se pueden realizar:

VIABILIDAD TÉCNICA:

Se refiere a la capacidad de implementar y llevar a cabo las actividades necesarias para lograr los objetivos del proyecto. Se evalúa la factibilidad de la tecnología, los procesos y los métodos necesarios para completar el proyecto. Esto incluye considerar factores como la disponibilidad de tecnologías y equipos específicos, la capacitación y habilidades del personal, y la capacidad de realizar pruebas y verificaciones para garantizar el éxito del proyecto. En resumen, la viabilidad técnica evalúa la posibilidad de llevar a cabo el proyecto, desde un punto de vista técnico.

VIABILIDAD ECONÓMICA:

La viabilidad económica en un proyecto se refiere a la capacidad de generar ingresos suficientes para cubrir los costos y generar un beneficio financiero. Se evalúa la rentabilidad del proyecto mediante la consideración de factores como los costos de inversión, los costos operativos, los ingresos esperados y el periodo de recuperación de la inversión. Es importante también considerar los riesgos financieros y cómo estos pueden afectar la rentabilidad del proyecto. Esto puede incluir la evaluación de escenarios de sensibilidad y

la realización de análisis de punto de equilibrio. En resumen, la viabilidad económica evalúa si el proyecto es rentable y si generará un retorno satisfactorio sobre la inversión.

VIABILIDAD FINANCIERA:

La viabilidad financiera en un proyecto se refiere a la capacidad del proyecto para generar un flujo de efectivo suficiente para cubrir los costos y generar un beneficio financiero. Se evalúa la rentabilidad del proyecto mediante la consideración de factores como los costos de inversión, los costos operativos, los ingresos esperados y el periodo de recuperación de la inversión. Es importante también considerar los riesgos financieros y cómo estos pueden afectar la rentabilidad del proyecto. Esto puede incluir la evaluación de escenarios de sensibilidad y la realización de análisis de punto de equilibrio. En resumen, la viabilidad financiera evalúa si el proyecto es rentable y si generará un retorno satisfactorio sobre la inversión.

VIABILIDAD JURÍDICA:

La viabilidad jurídica en un proyecto se refiere a la conformidad con las leyes y regulaciones aplicables. Se evalúa si el proyecto cumple con las regulaciones gubernamentales, las leyes medioambientales, las normas de seguridad, las regulaciones laborales y cualquier otra norma legal aplicable. Es importante también considerar los permisos y licencias necesarias para llevar a cabo el proyecto, así como los posibles desafíos legales y cómo estos pueden afectar al proyecto. Es importante también evaluar la posibilidad de impacto en los derechos y las obligaciones de las partes interesadas, como los derechos de propiedad, los contratos y los acuerdos comerciales. En resumen, la viabilidad jurídica evalúa si el proyecto cumple con las leyes y regulaciones aplicables y si cuenta con los permisos y licencias necesarios.

VIABILIDAD AMBIENTAL:

La viabilidad ambiental en un proyecto se refiere a la capacidad de llevar a cabo el proyecto sin causar daños significativos al medio ambiente. Se evalúa el impacto ambiental del proyecto, considerando factores como la conservación de la biodiversidad, el uso de recursos naturales, la calidad del aire y del agua, el cambio climático y los efectos sobre los

ecosistemas. Es importante también considerar las regulaciones y las leyes medioambientales aplicables, así como las expectativas y las necesidades de las partes interesadas. La evaluación del impacto ambiental puede incluir la realización de estudios de impacto ambiental y la elaboración de planes de manejo ambiental para mitigar los impactos negativos. En resumen, la viabilidad ambiental evalúa si el proyecto puede llevarse a cabo sin causar daños significativos al medio ambiente y si cumple con las regulaciones y las leyes medioambientales aplicables.

VIABILIDAD SOCIAL:

La viabilidad social en un proyecto se refiere a la capacidad de llevar a cabo el proyecto sin causar impactos negativos significativos en las comunidades y las personas involucradas. Se evalúa el impacto social del proyecto considerando factores como el impacto en las comunidades locales, la cultura, la salud y el bienestar de las personas, el acceso a servicios básicos, la igualdad de género y el desarrollo sostenible. Es importante también considerar las expectativas y las necesidades de las partes interesadas, incluyendo a las comunidades locales, los grupos de interés y las autoridades gubernamentales. La evaluación del impacto social puede incluir la realización de estudios de impacto social y la elaboración de planes de mitigación y compensación para minimizar los impactos negativos. En resumen, la viabilidad social evalúa si el proyecto puede llevarse a cabo sin causar impactos negativos significativos en las comunidades y las personas involucradas y si cumple con las expectativas y necesidades de las partes interesadas.

INDICADOR TIR:

La tasa interna de retorno (TIR) es un indicador financiero que mide la rentabilidad de un proyecto de inversión. Se calcula como la tasa de interés que hace que el valor presente neto (VPN) del proyecto sea cero. Es decir, es la tasa de interés a la cual los flujos de efectivo futuros del proyecto son iguales al costo inicial del proyecto. La TIR es una medida del rendimiento esperado del proyecto y se utiliza comúnmente para comparar diferentes proyectos de inversión. Un proyecto con una TIR más alta es considerado más atractivo que uno con una TIR más baja. La TIR es una medida del rendimiento interno, ya que se

basa en los flujos de efectivo futuros generados por el proyecto. Por lo tanto, es una herramienta importante para la toma de decisiones en los proyectos de inversión.

INDICADOR VPN:

Indicador financiero que se utiliza para medir la rentabilidad de un proyecto de inversión. Se calcula restando el costo inicial del proyecto y los flujos de efectivo futuros esperados, descontados a una tasa de interés específica, al valor actual de esos flujos de efectivo. El VPN se utiliza para determinar si un proyecto es rentable o no. Si el VPN es positivo, significa que el proyecto es rentable, ya que genera más dinero del que cuesta. Si el VPN es negativo, significa que el proyecto no es rentable, ya que cuesta más de lo que genera. El VPN es una herramienta importante para la toma de decisiones en los proyectos de inversión, ya que permite comparar diferentes proyectos y seleccionar el más rentable.

RETILAP:

Es el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público, el cual establece los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público en el país, tendientes a garantizar: los niveles y calidad 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, 2016).

VATIO:

Un vatio (W) es la unidad de medida de la potencia eléctrica. Es equivalente a la cantidad de energía eléctrica que se utiliza en un segundo. La potencia eléctrica se refiere a la cantidad de energía que se utiliza para realizar un trabajo, como encender una bombilla o hacer funcionar un motor. Un vatio-hora (Wh) es la unidad de medida de la energía eléctrica, es equivalente a un vatio de potencia utilizado durante una hora. Por ejemplo, una bombilla de 100 vatios que se enciende durante 1 hora consumirá 100 vatio-hora de energía eléctrica.

DESLUMBRAMIENTO:

El deslumbramiento es un fenómeno de la visión que produce molestia o disminución en la capacidad para distinguir objetos, o ambas cosas a la vez, debido a una inadecuada distribución o escalonamiento de luminancias, o como consecuencia de contrastes excesivos en el espacio o en el tiempo.

FLUJO LUMINOSO:

Cantidad de luz emitida por segundo por una fuente de luz en todas las direcciones. Su unidad de medida es el LUMEN

LUMINANCIA:

Se llama luminancia o brillo fotométrico a la luz procedente de los objetos.

TEMPERATURA DEL COLOR:

La temperatura del color es similar a un metal ya que cuando el metal aumenta la temperatura a la cual está expuesta, su color también es directamente proporcional a su temperatura, esto se descubrió cuando calentaron un cuerpo con color negro y observaron el cambio de color (UPC, 2019).

DEPRECIACIÓN LUMINOSA:

La depreciación luminosa no es más que la representación de la reducción del flujo luminoso emitido por un dispositivo emisor de luz en el trayecto de su vida útil (UPC, 2019).

TÚNEL:

Estructura subterránea que permite el paso de personas, vehículos o mercancías de un lado a otro. Los túneles son construidos a través de montañas, debajo de ríos o cuerpos de agua, o bajo la tierra. Existen diferentes tipos de túneles, como los túneles de transporte, como los túneles de vehículos o trenes, los túneles para servicios públicos, como los túneles de agua o gas, y los túneles de investigación científica. Los túneles pueden ser construidos

utilizando diferentes métodos, como la perforación, la excavación mecánica o la construcción en el lugar. Los túneles requieren un cuidado y mantenimiento continuo para garantizar su seguridad y operación continua.

SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO:

Es el servicio público no domiciliario que se presta con el objeto de proporcionar exclusivamente la iluminación de los bienes de uso público y demás espacios de libre circulación de tránsito vehicular o peatonal, dentro del perímetro urbano y rural de un municipio o distrito. El servicio de alumbrado público comprende las actividades de suministro de energía al sistema de alumbrado público, la administración, la operación, el mantenimiento, la modernización, la reposición y la expansión del sistema de alumbrado público[10].

CENTRO DE SIMETRÍA:

Punto interior de un cristal, que divide en dos partes iguales a todo segmento rectilíneo que pase por él y esté limitado por la superficie del cristal. (Castellanos, 2013)

EJE DE SIMETRÍA:

Es toda línea qué, tomada como eje de rotación, hace que el cristal coincida consigo mismo dos o más veces en una vuelta. Según el número de coincidencias los ejes pueden ser binarios, ternarios, cuaternarios o escenarios.

EJES POLARES:

Son aquellos ejes de simetría que terminan en elementos geométricos de distinta categoría. (Ej.: ejes ternarios del tetraedro que van de un vértice al centro de la cara opuesta). (Castellanos, 2013).

[10] Decreto 2424 del 18 de julio de 2006 - "*Por el cual se regula la prestación del servicio de alumbrado público*". Artículo 2

1.12 MARCO NORMATIVO

En el marco normativo se evidencia toda la legislación y normatividad vigente, que afecta directamente tanto la intervención del cambio de un sistema de iluminación, como de la instalación de elementos piezoeléctricos para la generación y almacenamiento de energía eléctrica, a continuación, en la Tabla 3 se expone la normatividad que se relaciona en cierta medida con el proyecto, por orden cronológico de más reciente a más antiguo:

Tabla 3 *- Marco Normativo del Proyecto*

Nombre	Norma	Detalle
Congreso de la República de Colombia	Ley 2099 de 2021	Ley que dicta las disposiciones para la transición energética en el país, para todos los sectores económicos, fomenta la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país post pandemia y se dictan otras disposiciones.
Retilap (Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público)	Resolución 40122 del 8 de febrero de 2016	Esta norma establece los requisitos y medidas necesarios que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público.
Congreso de la República	Ley 1715 de 2014	Procura la regulación de energías renovables no convencionales y busca promover la generación y uso de fuentes de energía, de preferencia todas aquella que no convencionales
Congreso de la República	Ley 1508 de 2012	Se genera un procedimiento para la ejecución de proyectos
Anexo General Retilap	Resolución 180540 de 2010	Se establecen requisitos mínimos para la eficiencia lumínica y vida útil de las fuentes lumínicas
Requisitos técnicos de fuentes lumínicas de alta eficacia usadas en sedes de entidades públicas	Resolución 180606 de 2008	Determinar las especificaciones técnicas mínimas aceptadas en la sustitución y uso de fuentes lumínicas en los edificios que sean sede de entidades públicas de cualquier orden, independientemente de quien ostente la propiedad del inmueble.

Nombre	Norma	Detalle
Norma técnica colombiana	NTC 5108:2008 y NTC 5109:2005	Se establecen parámetros para la medición del flujo luminoso en espacios
Comisión de regulación de alumbrado público - CREG	Decreto 2424 de 2006	Se establecen normas para la prestación del servicio de alumbrado público
Reglamentación de la Ley 697 de 2001 y creación de una comisión intersectorial	Decreto Reglamentario No. 3683 de 2003	Promover el uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales, de tal manera que se tenga la mayor eficiencia energética para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción de fuentes de energía no convencionales, de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales
Congreso de la República	Decreto 3686 de 2003	Busca el abastecimiento energético pleno y oportuno en la Promoción del uso de energías no convencionales
Ley de eficiencia energética	Ley 697 del 03 de octubre de 2001	En la cual se describe el uso racional de la energía y su eficiencia y se promueve la utilización de energías alternativas.
Unidad de planeación Minero Energética	Ley 143 de 1994	En el cual se establece Instrumentos para el aprovechamiento energético, el ahorro de la energía, así como su conservación y uso eficiente, es uno de los objetivos prioritarios en el desarrollo de las actividades del sector eléctrico
Norma técnica colombiana	NTC 1735:1982	Normatividad en la cual se relaciona la nomenclatura referente a la energía.
Congreso de la república de Colombia	Ley 23 de 1973	En esta ley se habla sobre la necesidad de proteger recursos naturales no renovables por medio de energías alternativas

2. ANÁLISIS DEL MERCADO

2.1 OFERTA Y DEMANDA

La oferta del proyecto se enfoca en la prestación de servicios de Consultoría y Asesoría en materia de gestión de proyectos relacionados con contratación estatal, enfocados en cambio de iluminación tradicional a sistemas más eficientes como las lámparas tipo Led, con fuente de energía generada a través de elementos piezoeléctricos, para los túneles que cuentan con sistemas de iluminación tradicionales en la vía Bogotá - Villavicencio.

Sin embargo, la demanda se puede ampliar a los 165 túneles que existen actualmente en la red nacional de carreteras, y más del 90% de los túneles que actualmente están en funcionamiento tienen iluminación tradicional y no cuentan con iluminación LED (Invias, 2.019), además, el 100% de ellos utilizan fuentes de energía convencionales.

Para el caso de estudio actual, se analiza la demanda causada por los túneles anteriormente mencionados, es decir sobre cuatro de los túneles que existen sobre la vía al llano y sobre los cuales se desarrollará el estudio de factibilidad técnica y económica. Es importante resaltar que el Cliente para el estudio es la Concesionaria vial de los Andes S.A.S. - Coviandes S.A.S, quienes tienen contractualmente el mantenimiento y construcción de la calzada vial de la vía Bogotá - Villavicencio, y por ende, de los túneles ya descritos.

A continuación, se presentan los escenarios o diferentes alternativas a través de las cuales se realizará el estudio de factibilidad:

1. Validar el sistema como está actualmente, sin generar ningún cambio.
2. Validar el túnel con cambio de iluminación tradicional a tecnología Led.
3. Validar el sistema con cambio de iluminación tradicional a sistema de iluminación tipo Led, con una fuente de energía alimentada a través de los elementos piezoeléctricos.

2.2 MERCADO OBJETIVO

El mercado objetivo del proyecto es la Concesionaria vial de los Andes S.A.S. - Coviandes, quienes son los responsables de garantizar el correcto funcionamiento de la iluminación, el soporte, mantenimiento de los túneles ya descritos, sin embargo, el mercado puede abarcar todas aquellas empresas públicas o privadas que requieran tanto el cambio de sus sistemas de iluminación, como para el uso de fuentes de energía a través de elementos piezoeléctricos para túneles viales en las vías del país.

2.3 MEDICIÓN DE SATISFACCIÓN

Para la medición de la Satisfacción y cuantificación de la Experiencia del Cliente, se generan los siguientes indicadores, a través de los cuales se validará el cumplimiento de los requisitos del cliente:

- (Número total de requerimientos del Cliente - Número de requerimientos cumplidos) / 100.
- Cumplimiento con el cronograma según las fechas y los entregables.

Adicionalmente, para obtener un resultado más concreto se deberá aplicar la encuesta de satisfacción para el cliente.

2.4 CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO

Para el caso del diseño del estudio de factibilidad técnica y económica del servicio de consultoría de gestión de proyectos relacionados con el cambio tecnológico en la iluminación de los túneles de la vía Bogotá - Villavicencio, se presentan las siguientes fases**:**

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO:

En esta fase se evalúa la condición actual del túnel y se valida cuáles son los beneficios y riesgos de un posible cambio al sistema de iluminación actual por uno con lámparas led y con fuente de energía con elementos piezoeléctricos, para dar una viabilidad óptima o

descartar el cambio. Adicionalmente se realiza un estudio medioambiental para conocer los beneficios del nuevo cambio de iluminación.

REDISEÑO:

Se realiza un rediseño en caso de ser requerido para la implementación del cambio de iluminación y de los elementos piezoeléctricos, adicional, se plantean y definen las recomendaciones para adecuar los bancos de almacenamiento de energía generada por los piezoeléctricos a través de las baterías.

ANÁLISIS DE PROVEEDORES:

Se realiza una búsqueda de proveedores de elementos piezoeléctricos de generación de energía, así como también, de iluminación Led, con el fin de tener varias opciones según las necesidades del proyecto.

SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA:

Esta se realiza con base a las necesidades del Cliente, del Proyecto y del análisis de proveedores. Se define la mejor alternativa en tecnología para la correcta ejecución del proyecto, alineado con los objetivos y el alcance del proyecto.

ESCOGER PROVEEDOR:

En la etapa se eligen a los proveedores una vez se defina la tecnología requerida a usar en los túneles.

DETERMINACIÓN DE RECURSOS:

Para esta fase se realiza el cálculo de recursos necesarios para ejecutar cada uno de los escenarios propuestos, estos pueden ser físicos, tecnológicos, económicos y hasta humanos.

GENERAR PRESUPUESTO:

Se genera el presupuesto de los costos y gastos necesarios para la ejecución del proyecto, adicional a ello se valida el presupuesto general del proceso.

PLANEACIÓN DEL PROYECTO:

Se realiza todo el proceso de planeación, cronograma de ejecución del proyecto. Tiene como finalidad, brindar el servicio donde se entregue una variedad al sistema de iluminación convencional y en el cual se pueda evidenciar cuál de ellos es el más eficiente según el estudio.

ESTRUCTURA

Para la estructura del proyecto se requiere una serie de elementos que componen el desarrollo del mismo se clasificaran a continuación:

- **Materiales Piezoeléctricos:** Se deben contemplar los siguientes criterios para la adquisición de los elementos piezoeléctricos:

    - **Eficiencia**: La eficiencia de los elementos piezoeléctricos se refiere a la cantidad de energía mecánica que se convierte en energía eléctrica. Es importante elegir elementos con alta eficiencia para maximizar la cantidad de energía generada.

    - **Frecuencia de operación:** Es importante elegir elementos que puedan operar en la frecuencia esperada de las vibraciones a ser utilizadas para la generación de energía.

    - **Sensibilidad**: Es importante elegir elementos con alta sensibilidad para maximizar la cantidad de energía generada a partir de las vibraciones.

    - **Durabilidad**: Es importante elegir elementos con alta resistencia a la corrosión y a la degradación para garantizar su durabilidad y confiabilidad a largo plazo.

    - **Costo**: Así mismo, es importante elegir elementos con un costo razonable y que se ajusten al presupuesto del proyecto o de los procesos de contratación publicados en la plataforma transaccional del estado.

- **Calidad**: Es importante elegir elementos piezoeléctricos de alta calidad y provenientes de fabricantes confiables para garantizar su confiabilidad y rendimiento.

- **Especificaciones técnicas:** Es importante elegir elementos que cumplan con las especificaciones técnicas requeridas para el proyecto, es decir, garantizando la durabilidad y la eficiencia en la generación de energía eléctrica que se obtiene a través de la circulación vehicular.

- **Compatibilidad**: Es importante elegir elementos piezoeléctricos que sean compatibles con el resto del sistema y los equipos que se van a utilizar.

- **Pesaje en movimiento (Sensor I-WIM).** Tecnología que se dispone debajo de la superficie del pavimento, consistiendo en unas pastas de plástico, con almohadillas de producción de energía.

- **Batería:** Para el diseño e implementación de un proyecto de un sistema de iluminación con luces led y alimentado por energía generada por elementos piezoeléctricos es importante contemplar las baterías que permitan almacenar la energía eléctrica generada, se pueden utilizar diferentes tipos de baterías, dependiendo de las necesidades del proyecto. Algunos ejemplos de baterías que se pueden utilizar son:

  - Baterías de iones de litio: son baterías de alta capacidad, ligeras y con una larga vida útil. Son adecuadas para sistemas de iluminación que requieren una larga duración de la batería.

  - Baterías de plomo-ácido: son baterías de bajo costo, resistentes y con una larga vida útil. Son adecuadas para sistemas de iluminación que requieren una gran cantidad de energía.

- Baterías de níquel-cadmio: son baterías de alta capacidad y resistentes a las altas y bajas temperaturas. Son adecuadas para sistemas de iluminación que requieren una alta resistencia al clima.
- Baterías de níquel-metal-hidruro: son baterías de alta capacidad, ligeras y con una larga vida útil. Son adecuadas para sistemas de iluminación que requieren una larga duración de la batería y una alta resistencia al clima.
- Baterías de zinc-carbono: son baterías económicas y fáciles de reemplazar, adecuadas para sistemas de iluminación que requieren una baja capacidad y un uso temporal.

Es importante elegir una batería adecuada teniendo en cuenta las especificaciones del proyecto y las necesidades de energía que garantice el funcionamiento del sistema de iluminación de los túneles del alcance del presente proyecto.

- **Bancos de Batería.** Un banco de batería es un conjunto de baterías conectadas en serie o en paralelo para aumentar la capacidad de almacenamiento de energía. Los bancos de batería se utilizan en una variedad de aplicaciones, incluyendo sistemas de almacenamiento de energía renovable. En un proyecto de sistema de iluminación alimentado por piezoeléctricos, los bancos de batería se pueden utilizar para almacenar la energía generada por los elementos piezoeléctricos con la circulación de los vehículos a través de los túneles.

  Los bancos de batería también proporcionan estabilidad en el sistema al proporcionar energía en caso de fluctuaciones en la producción de energía de los elementos piezoeléctricos. Además, los bancos de batería también pueden ser utilizados para proteger el sistema contra sobretensiones.

  Hay diferentes tipos de bancos de batería disponibles, cada uno con sus propias características y beneficios. Es importante elegir un banco de batería adecuado teniendo en cuenta las especificaciones y requerimientos del proyecto y las necesidades de almacenamiento de energía del sistema de iluminación. Los bancos de baterías almacenan la energía que será utilizada por los Sistemas UPS

durante las posibles fallas que se presenten en la red eléctrica del sistema de iluminación de los túneles. Los sistemas UPS mantienen las baterías recargadas y listas para uso en el caso de necesidad. La energía reservada almacenada es proporcional a la capacidad de las baterías. Cuanto mayor son las baterías, mayor es este tiempo, denominado tiempo de autonomía. Para el proyecto se realiza el siguiente cálculo:

- Número de banco de baterías (Nbb). El número de bancos de baterías necesarios, se calcula dividiendo los Amperios Hora entre la capacidad de los bancos de baterías. La capacidad del banco de baterías (Cbb) es de 1000 Amperios Hora.

$$Nbb = AHr/Cbb$$

$$Nbb = \frac{6662}{1000} = 6{,}66 = 7\ bancos\ de\ baterías$$

- **Rectificadores de Corriente.** Un rectificador es el dispositivo electrónico que permite convertir la corriente alterna en corriente continua. Esto se realiza utilizando diodos rectificadores, ya sean semiconductores de estado sólido, válvulas al vacío o válvulas gaseosas como las de vapor de mercurio (actualmente en desuso). Dependiendo de las características de la alimentación en corriente alterna que emplean, se les clasifica en monofásicos, cuando están alimentados por una fase de la red eléctrica, o trifásicos cuando se alimentan por tres fases. Para el proyecto se calcula la cantidad de rectificadores requerido dividiendo la corriente generada por el sistema piezoeléctrico en el kilómetro mencionado sobre la capacidad de un rectificador; la capacidad del rectificador es 100 amperios.

$$NRect = \frac{832{,}1}{100} = 8{,}32 = 9\ rectificadores$$

- **Inversor eléctrico:** Un inversor es un dispositivo que cambia o transforma una tensión de entrada de corriente continua a una tensión simétrica de salida (senoidal, cuadrada o triangular) de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador.

- **LED.** Un diodo emisor de luz o Led, es una fuente de luz constituida por un material semiconductor, dotado de dos terminales. Se trata de un diodo de unión p-n[11], que emite luz cuando está activado. Si se aplica una tensión adecuada a los terminales, los electrones se recombinan con los huecos en la región de la unión p-n del dispositivo, liberando energía en forma de fotones. Este efecto se denomina electroluminiscencia, y el color de la luz generada (que depende de la energía de los fotones emitidos) viene determinado por el ancho de la banda prohibida del semiconductor. Los ledes son normalmente pequeños (menos de 1 mm²) y se les asocian algunos componentes ópticos para configurar un patrón de radiación.

2.5 DIAGNÓSTICO DEL SECTOR

A través del presente diagnóstico sectorial, se realiza consulta en fuentes secundarias para evaluar la situación del sector a nivel internacional, nacional y regional la cual se va a desarrollar a continuación.

2.5.1 Diagnóstico Internacional

La tecnología LED ha evolucionado significativamente desde su descubrimiento en 1927 por el científico ruso Oleg Vladimirovich Losev. En los primeros días, los LED eran principalmente utilizados como indicadores de estado en dispositivos electrónicos, pero su uso se ha expandido significativamente en las últimas décadas[12]. En las décadas de los 60s y 70s, la tecnología LED comenzó a utilizarse en aplicaciones de iluminación de baja potencia, como indicadores de estado y luces de señalización. Sin embargo, la eficacia de estos LED era limitada debido a su baja eficiencia y rendimiento.

[11] PVEducation - Formación de la unión-PN. Overview. https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/dispositivos-semiconductores/formaci%C3%B3n-de-la-uni%C3%B3n-pn

[12] Universidad Politécnica de Madrid - Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación. "Diodo Led" - https://www.etsist.upm.es/estaticos/ingeniatic/index.php/tecnologias/item/433-diodo-led%3Ftmpl=component&print=1.html

En la década de 1990, la tecnología LED comenzó a mejorar significativamente, con la introducción de LED de alta potencia y de alta eficiencia. Estos LED permitieron su uso en una variedad de aplicaciones, incluyendo iluminación de interiores y exteriores, iluminación de señalización y pantallas de visualización.

La evolución en la tecnología Led que viene produciéndose desde que en el año 1997, se desarrolló en Japón la iluminación de luz blanca basada en Led, el mercado global ha ido incrementando la demanda de estos productos con mayor intensidad, dada la creciente necesidad de fomentar la transformación de las fuentes de iluminación convencional a soluciones más eficientes y duraderas basadas en sistemas de iluminación Led. Este hecho provoca que el esfuerzo en investigación y desarrollo de las empresas del sector de iluminación se concentre principalmente en conseguir sistemas de iluminación con buenas prestaciones, altamente eficientes y que resulten asequibles. La posibilidad de ofrecer soluciones con un alto rendimiento desde el punto de vista del ahorro energético, eliminando costes de mantenimiento y ofreciendo un sistema duradero en el tiempo, ha convertido la tecnología Led en uno de los motores tecnológicos más competitivos y con mayor proyección de futuro en el sector de la iluminación. De esta manera, la eficiencia energética se concibe como una metodología para el análisis y tratamiento de los problemas del creciente consumo[13].

La situación actual de la tecnología LED es muy positiva, ya que se ha convertido en una de las tecnologías de iluminación más populares y utilizadas en el mundo. A medida que la eficiencia y el rendimiento de los LED han mejorado, su uso se ha expandido en una variedad de aplicaciones, incluyendo iluminación residencial, comercial e industrial, iluminación de vehículos y pantallas de visualización.

En la actualidad, los LED son conocidos por su eficiencia energética, larga vida útil, bajo mantenimiento y bajo impacto ambiental. Además, la tecnología LED continúa mejorando,

[13] Serrano-Tierz, A., Martínez-Iturbe, A., Guarddon-Muñoz, O., & Santolaya-Sáenz, J. L. (2015). Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial: Un estudio de caso. Dyna, 82(191), 231-239.

con la introducción de nuevos diseños y materiales que permiten una mayor eficiencia y rendimiento.

La tecnología LED también está siendo utilizada en conjunto con otras tecnologías de iluminación, como la iluminación inteligente y las tecnologías de control de iluminación, para proporcionar una mayor eficiencia energética y un mejor rendimiento.

En resumen, la situación actual de la tecnología LED es muy positiva, ya que se ha convertido en una tecnología clave en el mercado de iluminación, y se espera que continúe su crecimiento y mejora en el futuro.

El mercado mundial de LED aumentará a una tasa de crecimiento anual compuesto de más del 18% durante 2017-2021, pasando de 18,51 miles de millones de dólares en 2016 a 24,67 en 2021, según Technavio, una empresa inglesa dedicada a estudios de mercado. En particular, el segmento de luminarias abarcó 14.280 millones de dólares en 2016, mientras que el segmento de iluminación general representará el 77,37% de cuota de mercado en 2021. la región de Asia y el Pacifico (APAC) crecerá un 20,56% durante el periodo previsto.

El rápido agotamiento de los recursos naturales y el calentamiento global han generado una necesidad indispensable para la conservación de la energía en todo el mundo. En 2016, se estimó que las aplicaciones de iluminación representaban más del veinte por ciento del consumo mundial de energía. Hay una necesidad urgente de reducir este consumo y los gobiernos de todo el mundo se están centrando en la aplicación de políticas favorables para promover el uso de productos de iluminación de bajo consumo energético.

Los gobiernos de economías establecidas como Estados Unidos y el Reino Unido y China e India se dedican a la promoción de productos de iluminación LED, proporcionando incentivos fiscales y subsidios a estos productos, dice Chetan Mohan, analista líder de investigación de iluminación.

Algunos de los países y empresas referentes en la producción de lámparas LED son:

- China: es el mayor productor y exportador de lámparas LED en el mundo, con una gran cantidad de fabricantes y una gran capacidad de producción.

- Corea del Sur: cuenta con una gran industria tecnológica y empresas líderes en el campo de la iluminación LED, como Samsung y LG.
- Taiwán: es un importante productor de lámparas LED con un gran desarrollo en la investigación y el desarrollo de tecnologías avanzadas.
- Japón: cuenta con una gran cantidad de investigaciones y desarrollo en el campo de la iluminación LED y algunas empresas líderes en la producción de lámparas LED.
- Estados Unidos: cuenta con un gran desarrollo en tecnologías avanzadas y empresas líderes en la producción de lámparas LED.

Algunas empresas referentes en la producción de lámparas LED son: Philips, Cree, Osram, General Electric, Nichia, LG, Samsung, Panasonic, Toshiba, Epistar. Sin embargo, es importante destacar que hay muchas empresas que están fabricando lámparas LED y estas listadas son solo algunas de ellas.

La tecnología piezoeléctrica se ha desarrollado desde hace más de un siglo. La piezoelectricidad fue descubierta por primera vez en 1880 por los científicos franceses Jacques y Pierre Curie. Ellos descubrieron que algunos materiales cristalinos, como el cuarzo, generan una carga eléctrica cuando se someten a una presión mecánica.

En los primeros días, los elementos piezoeléctricos se utilizaron principalmente en aplicaciones de medición, como los sensores de presión, sensores de posición y transductores de sonido. Sin embargo, en las últimas décadas, la tecnología piezoeléctrica ha evolucionado para incluir una variedad de aplicaciones, como la generación de energía eléctrica a partir de vibraciones, la detección de movimiento, el control de la velocidad de los motores y la detección de impactos.

En la actualidad, los elementos piezoeléctricos son utilizados en una variedad de aplicaciones, como la generación de energía renovable, el control de procesos industriales, la medición de presión, la detección de movimiento y la detección de impactos. Se espera que la tecnología piezoeléctrica continúe desarrollándose en el futuro, con el objetivo de mejorar la eficiencia y la eficacia de las aplicaciones existentes y desarrollar nuevas aplicaciones.

La situación actual de la tecnología piezoeléctrica es prometedora. A medida que la demanda de energía renovable y la eficiencia energética continúan creciendo, la tecnología piezoeléctrica se está convirtiendo en una alternativa cada vez más atractiva para generar energía a partir de fuentes de vibración ambiental, como el tráfico, el viento y las olas.

En la actualidad, se están desarrollando nuevos materiales y diseños para mejorar la eficiencia y la eficacia de los elementos piezoeléctricos, y se están investigando nuevas aplicaciones, como la generación de energía a partir de la energía cinética de las personas y los animales.

Además, la tecnología piezoeléctrica también se está utilizando en una variedad de aplicaciones, como la medición de presión, la detección de movimiento y la detección de impactos. Por ejemplo, los sensores piezoeléctricos son utilizados en dispositivos electrónicos, como los teléfonos móviles, para detectar la posición y el movimiento del dispositivo.

En resumen, la situación actual de la tecnología piezoeléctrica es prometedora, ya que se está convirtiendo en una alternativa cada vez más atractiva para generar energía renovable y se están investigando nuevas aplicaciones en una variedad de campos.

Algunos de los países y empresas referentes en la producción de elementos piezoeléctricos para generación de energía son:

- China: es uno de los principales productores de elementos piezoeléctricos en el mundo, con una gran capacidad de producción y una gran variedad de fabricantes.
- Japón: es uno de los principales desarrolladores de tecnología piezoeléctrica, con empresas líderes en el campo como Murata Manufacturing y TDK.
- Estados Unidos: cuenta con una gran cantidad de investigaciones y desarrollo en el campo de la tecnología piezoeléctrica, y algunas empresas líderes en la producción de elementos piezoeléctricos para generación de energía.
- Europa: países como Alemania, Francia, España y Reino Unido son importantes productores de elementos piezoeléctricos para generación de energía.
- Corea del Sur: posee un gran desarrollo en tecnologías avanzadas y cuenta con importantes empresas en la producción de elementos piezoeléctricos.

Algunas empresas referentes en la producción de elementos piezoeléctricos para generación de energía son: TDK, Murata Manufacturing, Noliac, Piezomechanik GmbH, CeramTec, CTS Corporation, Meggitt PLC, Kyocera, EPCOS AG. Sin embargo, es importante destacar que hay muchas empresas que están fabricando elementos piezoeléctricos y estas listadas son solo algunas de ellas.

Los piezoeléctricos es una tecnología que está en auge a nivel mundial, en Israel ingenieros del centro tecnológico innowattech han creado un nuevo tipo de material para carreteras, basado en unos cristales piezoeléctricos, para aprovechar la energía cinética del paso de los vehículos. El material puede extenderse por todo tipo de superficies de tránsito con un grosor muy fino. Los responsables calculan que puede generar unos 400 KW por kilómetro.

El cambio tecnológico está creando cambios sin precedentes en las huellas del mercado de elementos piezoeléctricos. Se pronostica que este proceso se acelerará en los próximos diez años, sin embargo, es importante reconocer que las industrias de elementos piezoeléctricos están en constante cambio.

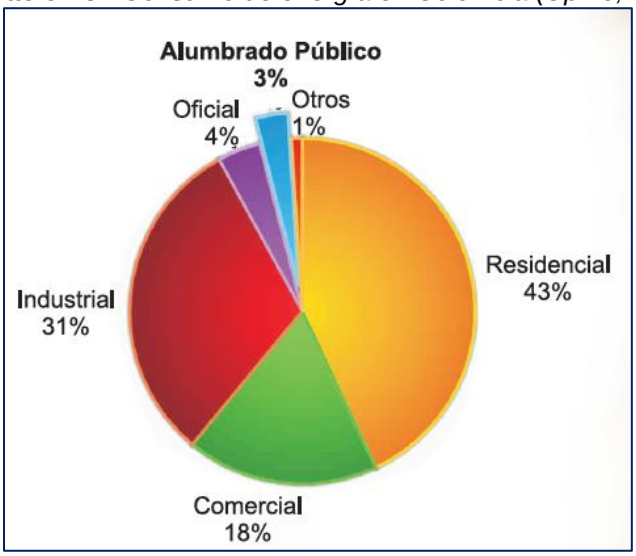
2.5.2 Diagnóstico Nacional

Desde que en el 2008 se prohibió el uso de bombillas incandescentes halógenas en el país, por su baja eficiencia lumínica, las alternativas han surgido principalmente en el uso de bombillos ahorradores fluorescentes o la iluminación con luces LED. En el 2014 el ministerio de minas y energía tuvo a bien convocar especialistas liderados por la asociación nacional de empresarios (ANDI) y la asociación colombiana de luminotecnia (ACDL) con el fin de revisar los avances y detalles de las propuestas de modificación a sectores especializados.

Dando pie a estas actualizaciones del Retilap, se han expedido tres resoluciones hasta la actualidad, las cuales son la 91872 de 28 de diciembre de 2012, 90980 de noviembre 15 de 2013 y la 40122 de febrero 8 de 2016, la última afecta directamente los productos de iluminación LED para interiores, porque allí es donde se incluyen las diferentes regulación y reglamentaciones que deben tener este tipo de productos, para ser comercializados distribuidos e importados en el territorio colombiano.

En el siguiente diagrama circular se observa el consumo total de energía eléctrica en Colombia para el año 2005 fue por funcionamiento el alumbrado público.

Ilustración 8 *- Consumo de energía en Colombia (Upme,2015)*



Fuente: *Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, 2017*

Cabe resaltar que es un porcentaje menor, se puede distinguir al alumbrado público como un importante foco para el ahorro de energía y la aplicación del uso racional de la energía o URE, ya que la demanda estimada de energía para el año 2007 está alrededor de 52 859 GWh. Este 3% se traduce en 1600 GWh que, en costos, con la tarifa promedio de 228 $/KWh, representa una no despreciable suma de $364 800 millones de pesos al año.

La Universidad Nacional sede Medellín ha sido pionera en investigación en este tipo de tecnología, desde el 2017 un grupo de investigación en vocería de juliana Ospina gallego manifiesta que el sistema funciona a partir de un esfuerzo mecánico, es decir se aplica cierta fuerza a la pieza, el material se dobla y se mueve y esa acción se traduce en energía, entonces la idea es que cuando los vehículos pasen por los separadores realicen el movimiento para lograr dicho fin.

La energía se almacenaría y luego sería utilizada para suplir cierta cantidad de energía del mismo estacionamiento, por ejemplo, las luces led con indicadores de disponibilidad de

parqueo, pantallas con mensajes informativos y control de acceso a los parqueaderos, entre otros. “Este proyecto determinó como implementar el uso de energía renovables en un sitio de baja demanda de energía como lo es los servicios eléctricos en un parqueadero”, detalló Ospina Gallego. *Placas piezoeléctricas reducirían consumo de energía en parqueaderos de centros comerciales (UNAL, 2017).*

En los últimos años ha habido un crecimiento en la adopción de esta tecnología en el país. La tecnología LED ofrece una mayor eficiencia energética, una vida útil más larga y un menor impacto ambiental en comparación con otras tecnologías de iluminación, lo que la convierte en una alternativa atractiva para una variedad de aplicaciones.

En Colombia, la tecnología LED se está utilizando cada vez más en iluminación residencial, comercial e industrial, así como en señalización y pantallas de visualización. Además, se está promoviendo el uso de la tecnología LED a través de programas gubernamentales y de iniciativas de eficiencia energética.

En resumen, se espera que el uso de la tecnología LED continúe creciendo en Colombia en el futuro, debido a sus beneficios en términos de eficiencia energética y reducción de impacto ambiental.

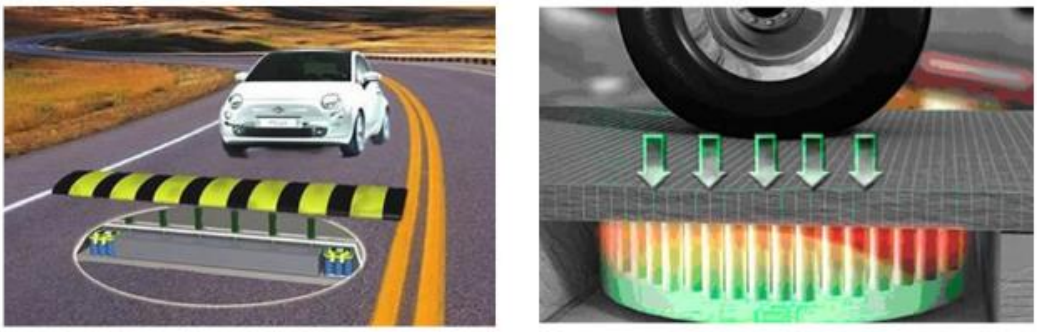
Con respecto al uso de los piezoeléctricos en el país, sólo se limita a pruebas piloto o trabajos académicos de viabilidad en su uso, se puede inferir que el uso de esta tecnología aún no es muy común en el país, debido a que la generación de energía renovable y la eficiencia energética son temas que aún están en desarrollo en Colombia. Sin embargo, se espera que el uso de tecnologías como los piezoeléctricos vaya creciendo en el futuro, ya que el país está buscando diversificar su matriz energética y reducir su dependencia de combustibles fósiles.

2.5.3 Diagnóstico Regional

Actualmente la iluminación por medio de tecnología led en el país está cada vez más en uso, sea para la iluminación de alumbrado público, iluminación interior de túneles, en

proyectos residenciales e industriales, debido a sus ventajas se ha ganado la confianza del mercado; en relación al uso de piezoeléctrico, aún son más los estudios de factibilidad por las diferentes zonas del país, Bogotá, Medellín, Tunja, Cali que los proyectos que se estén ejecutando, la factibilidad tiene variedad , encontramos proyectos como: " Placas piezoeléctricas reducirán consumo de energía en parqueaderos de centros comerciales- Universidad Nacional sede Medellín " , Generadores Piezoeléctricos como alternativa energética: Evaluación de factibilidad en la implementación en vías en ciudades intermedias- Universidad Santo Tomás ", "El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de Bogotá -Universidad Católica de Colombia", " Factibilidad técnica y económica de implementar un sistema ENERGY HARVESTING con generadores piezoeléctricos , en una zona de alto tráfico vehicular de la ciudad de Cali – Pontificia Universidad Javeriana.

Ilustración 9 *- Efecto piezoeléctrico en proyecto piloto en Bogotá*



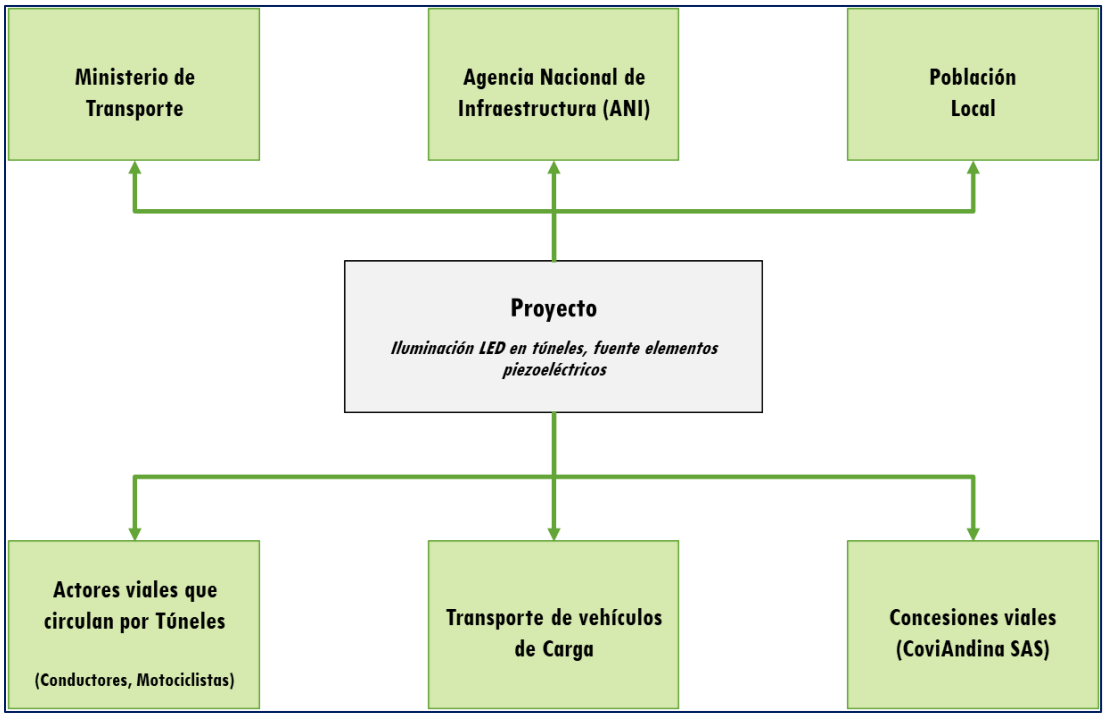
Fuente: *Tamayo-Zapata, D. A., & Cardozo-Gutiérrez, N. K. (2017). "El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de Bogotá"*

2.5.4 Análisis de partes Involucradas

De acuerdo a nuestra previa evaluación y proyección se encuentran partes involucradas comunes para cualquier túnel largo y montañoso del país esas partes corresponden a Ministerio de transporte, Invias concesión u otro ente privado o público a cargo del túnel a

trabajar y todo el cuerpo automotor propio de la población de influencia en el túnel correspondiente.

Ilustración 10 *- Partes interesadas*



Fuente: Autoría propia

2.6 TÉCNICAS Y FORMAS DE ANÁLISIS:

Para el análisis del mercado objetivo se encuentra una serie de herramientas estadísticas que permiten obtener información concreta para la ejecución de la encuesta, tanto para la operacionalización de las variables como para el análisis de datos obtenidos de la misma.

Para el desarrollo del cálculo de la muestra se decidió tomar la fórmula de tamaño de muestra para una población finita por medio de la se genera la relación entre dos términos, en ella se encuentran “# de usuarios a encuestar”, como la incógnita que se quiere hallar, adicionalmente se encuentra una serie de términos los cuales influyen en la muestra.

Cabe resaltar que el proceso se fundamenta en la probabilidad de aceptar o rechazar la muestra. La población que interactúa en el túnel de Boquerón, se estima que pueden ser alrededor de 4000 personas.

$$n = \frac{Z^2 * N * p * q}{e^2 * (N-1) + (Z^2 * p * q)}$$

Así encontramos los siguientes datos:

Tabla 4 *- Datos para la ejecución de la muestra*

DATOS PARA LA EJECUCIÓN DE LA MUESTRA	
VARIABLE	**DATO**
n = Tamaño de muestra	*n*
N = Población	4.000
Z = Nivel de confianza	93 %
	z = 1,81
p = Cantidad esperada de usuarios que deseen el cambio de iluminación	80 %
q = Cantidad esperada de usuarios que no desean optar por un cambio de iluminación	20%
e = Error en la estimación	7%

Fuente: Autoría propia

Reemplazando los datos en la ecuación anterior encontramos que:

$$n = \frac{1{,}81^2 * 4000 * 0.80 * 0.20}{0{,}07^2 * (4000-1) + (1{,}81^2 * 0.80 * 0.20)}$$

$$n = \frac{2096.704}{20.119276}$$

$$n = 104.21$$

$$n = 105$$

En conclusión, la cantidad de encuestas aplicar son 105, para obtener la información que se requiere referente al cambio de iluminación en túneles, para ello se realiza una operacionalización de variables enfocadas a 6 factores específicos: producto, demanda, oferta, canales, precio y estrategia, de los cuales, se seleccionan las preguntas adecuadas que permitan visualizar de manera eficiente el entorno de las partes interesadas, tales como: usuario, productor, comerciante. Entre otros.

De esta manera se puede realizar un análisis adecuado del mercado objetivo y sus participantes.

2.7 ENCUESTA:

La encuesta se enfoca en validar una serie de conceptos del servicio y satisfacción del cliente frente a la iluminación que se encuentra en la actualidad en el túnel de boquerón de la vía Bogotá - Villavicencio, los factores a encuestar son los siguientes:

- Producto
- Demanda
- Oferta
- Canales
- Estrategia

En base a estos factores se realiza la encuesta para la población estipulada y se busca obtener datos que permitan realizar un análisis más profundo en cada uno de ellos.

2.8 CONSTRUCCIÓN DE LA ENCUESTA:

La construcción de la encuesta se realiza mediante la operacionalización de las variables descritos en el punto 2.8, la tabla de operacionalización se adjunta en los anexos del trabajo, sin embargo, en la tabla se encuentra la siguiente información:

- Nombre de la variable: Se ingresa el nombre de la variable sobre la cual se quiere generar la pregunta.
- Unidad de medida: Unidad en que se mide la variable.
- Objetivo de la variable: Cuál es el objetivo de plantear una pregunta sobre esa variable.
- Fuente de información (Primaria o secundaria): validar el tipo de información recolectada si es de una fuente primaria a la cual tiene acceso el encuestador o si por el contrario es una fuente
- Tipo de variable (Cuantitativa, Cualitativa y Paramétrica): Se valida si es una variable que es medible de tipo numérica, conceptual o de parametrización
- Actor a encuestar (Productor, Comerciante, Consumidor o funcionario): a quien de los actores descritos va dirigida la pregunta.
- Pregunta: Se plantea la pregunta.

COMPORTAMIENTO DEL MERCADO META

En cuanto a la oferta se plantea brindar una opción de mejora en el servicio de iluminación mediante el cambio a iluminación Led y una fuente de energía renovable y sostenible mediante piezoeléctrico, la vida útil del piezoeléctrico es de 30 años y de una lámpara LED pueden llegar hacer de 50.000 horas (5 años), este permite una disminución en costos ya que no va a existir consumo de energía de una fuente adicional y la iluminación LED proporciona la misma iluminación que la actual de sodio pero sin generar tanto consumo ya que la led no debe calentarse para iluminar y consumirá mucho menos energía, adicional proporciona una mayor vida útil generando menos residuos y no produce emisiones de CO2, se pretende generar el estudio, principalmente para los túneles de la vía Bogotá - Villavicencio; Túnel Argelino Durán Quintero (Boquerón), Túnel Misael Pastrana Borrero (Buenavista), Túneles de Quebrada Blanca y Túnel Bijagual.

Frente a la demanda se puede decir que, en el año 2019, Se informó que por la vía Bogotá - Villavicencio, transitan 9.453 vehículos entre semana, mucho más de lo que indican las proyecciones para el 2019 (7.052), que se pueden quintuplicar un fin de semana con puente festivo. Un domingo de Pascua, transitan 20.668 vehículos por la vía. (Coviandes, 2019), los datos proporcionados por la concesión vial demuestran que el servicio se requiere las

24 horas del día los 7 días de la semana debido al alto flujo de vehículos, de todo tipo y brindando una iluminación que brinde seguridad y confort al actor vial.

Referente a la competencia en el mercado nacional frente al piezoeléctrico es nula debido a que en Colombia no hay nadie que lo produzca o lo instale, es algo novedoso que solo se ha aplicado en algunas ciudades de los países más desarrollados a nivel mundial, EE.UU implementa algunos proyectos pequeños al igual que Europa; sin embargo a gran escala está el caso de Israel quienes mantienen una ciudad completa abastecida de energía eléctrica por medio de piezoeléctrico cubriendo todas sus necesidades. Sin embargo, alusivo a la iluminación LED si hay varias empresas que prestan el servicio a continuación se enuncian las más relevantes:

1. Fonroche
2. Fervicom
3. Ecolite
4. Arquiled
5. Urban lights

Estas empresas a pesar de que se encuentran consolidadas en el mercado y todas tienen experiencia licitando públicamente, no cuentan con ningún tipo de experiencia u ofrecen servicios frente a la instalación de piezoeléctrico.

Plan de Posicionamiento del producto:

El objetivo del plan es posicionar el producto como una fuente de energía renovable no convencional mediante la publicidad basada en los beneficios del proyecto, los cuales buscan generar mediante el sistema de iluminación LED con fuente de energía renovable (piezoeléctrico), cabe recalcar que el plan piloto se realiza en los túneles de la vía Bogotá – Villavicencio, sin embargo si se aplicara a todo el alumbrado público se disminuirían costos de operación, consumo y demás para toda la iluminación pública. Por medio del cual se van a mejorar factores como:

se clasifica en 5 aspectos:

- Problemas de salud
- Accidentalidad
- Medio Ambiente
- Costos
- Mantenimiento

Problemas de Salud:

Una mejor iluminación por medio de lámparas LED, permite al actor vial evitar problemas y salud tales como: fatiga visual, dolor de cabeza estrés entre otros. *"La iluminación inadecuada puede provocar distintas afecciones en los ojos, como por ejemplo: fatiga ocular, cansancio, dolor de cabeza, estrés e incluso llegar a ocasionar accidentes"* (Medicall, 2018). La luz actual al ser lámparas de sodio alumbra en tono amarillo y La luz amarilla es menos energética (fotón por fotón) que algunos de los fotones de la luz blanca. Pero nuestros ojos están adaptados a la luz blanca. El sol emite luz blanca. Si iluminamos algo con luz amarilla, estaremos perdiendo información de color. Y el color es algo que nos aporta información adicional. de tal manera que no es muy recomendable mantener estas lámparas de sodio emiten mayor cantidad de calor y a pesar de que se mantengan en un rango aceptable en lugares cerrados esto se podría mejorar. El problema visual al ingresar a un túnel luego de que la visión del conductor este adaptada a cierto nivel de luminancia ambiente genera un contraste que puede terminar en un accidente a este fenómeno se le conoce como agujero negro e incluso en enfermedades oculares a largo plazo.

Mantenimiento:

Por lo general como cualquier objeto al cumplir su tiempo de uso se debe realizar mensualmente un debido mantenimiento de gran cantidad de dichas lámparas ya sea por cambio sea por daño en bombillo, fotocelda, acometida o arrancador, para ejecutar la reparación se debe realizar una compra según la necesidad de inventario por razones externas a lo técnico en la actualidad y debido a la disminución de la demanda de esta tecnología en Europa su producción ha bajado por lo tanto se dificulta cada vez más la adquisición de los materiales para realizar el mantenimiento correctivo.

“A partir del 1 de septiembre, las clásicas bombillas incandescentes ya no se podrán fabricar ni importar en la Unión Europea (UE). Y no serán las únicas. Hasta septiembre de 2016 se continuará con la retirada progresiva de los demás modelos de mayor derroche energético, para sustituirlos por otros más eficientes” (Customer, 2016), esto no pasaría con las lámparas LED debido a que son las que más se usan en el mercado son más accesibles los repuestos de las mismas y el abastecimiento de ellas.

Medio Ambiente:

Hoy por hoy el medio ambiente es un tema que preocupa a jóvenes y adultos por igual, a nivel mundial se habla de las energías renovables y la necesidad de cambiar las energías convencionales ya que la huella de carbono que han dejado a lo largo del tiempo ya se puede evidenciar en la actualidad.

El sistema de iluminación propuesto ataca esta problemática de raíz ya que elimina por completo las fuentes de electricidad como hidroeléctricas y de energías convencionales, adicional al proponer el uso de iluminación LED que consume hasta un 40 % menos de energía, su vida útil es mayor reduciendo los desechos producidos y no genera emisiones de Co2.

Costos:

Se disminuyen los costos del consumo de energía y de repuestos por lo que es de mayor beneficio para los actores viales.

Ventajas competitivas

1. Así se puede decir que es un producto totalmente innovador no existe ningún otro en el país por lo que no hay competencia en el mercado y adicional a ello este tipo de sistemas solo se encuentra en los países más desarrollados del mundo lo que puede llegar a generar cierto desarrollo en la calidad de vida de la población del país.

2. Produce más beneficios que cualquier otro sistema de iluminación del país.

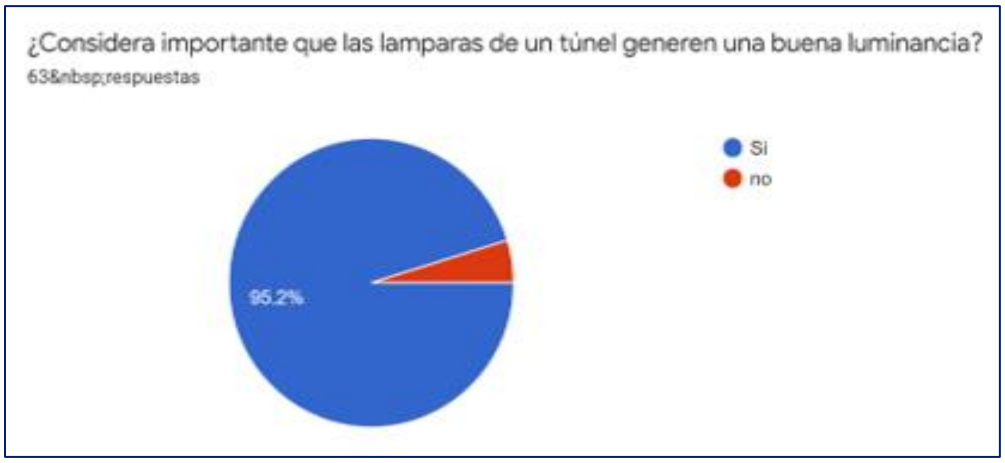
3. Genera confianza en la población y actores viales.

4. Mejora las condiciones de tránsito del país.

2.10 Resumen de Encuesta: Se debe pasar los cuadros de explicación de cada pregunta que se encuentra en el otro documento

El resumen de las encuestas se presentan a continuación basado en los puntos que se buscan atender en el mercado, Una vez se finalizan los procesos de operacionalización y selección de preguntas, se procede aplicar la encuesta para cambio de iluminación a LED e instalación de piezoeléctricos en túneles, a la cantidad de personas hallado en el cálculo anterior, así se da continuidad mediante las gráficas y análisis de los datos suministrados por los encuestados, que busca obtener la información de la manera más detallada posible, para ello se generarán diagramas de torta en la que se evidencian los porcentajes de aceptación o no según corresponda la pregunta, de esta manera será más fácil entender e interpretar las gráficas:

Ilustración 11 *- Pregunta No. 1 de la encuesta*



Fuente: Autoría propia

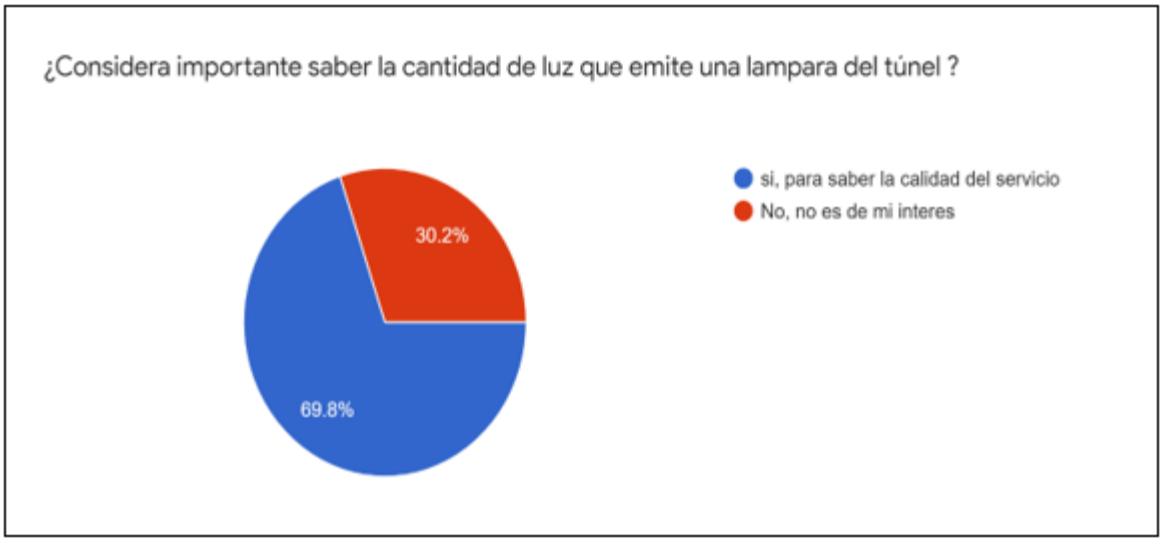
El objetivo es entender la importancia para el usuario del factor iluminación dentro de un túnel.

Tabla 5 *- Importancia de la iluminación para el usuario*

IMPORTANCIA DE ILUMINACIÓN PARA EL USUARIO	
Si	95.2%
No	7.5%
Total	100%

Fuente: Autoría propia

Ilustración 12 *- Pregunta No. 2 de la encuesta*



Fuente: Autoría propia

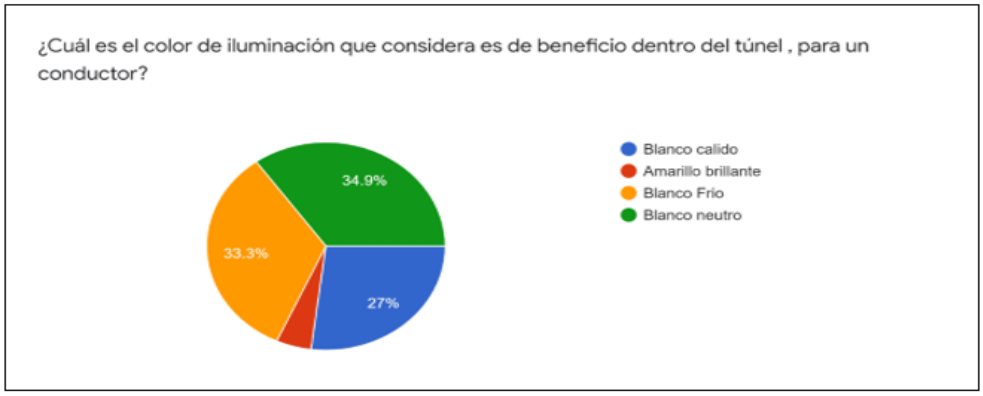
Busca tener a consideración si el factor de la cantidad de luz emitida por una lámpara es importante para un usuario, entendiendo que este la necesita para ejecutar de manera eficiente sus actividades de conducción.

Tabla 6 *- Cantidad de luz*

CANTIDAD DE LUZ	
Si	69.8%
No	30.2%
Total	100%

Fuente: Autoría propia

Ilustración 12 *- Pregunta No. 3 de la encuesta*



Pregunta 3. Encuesta (fuente: autores)

Fuente: Autoría propia

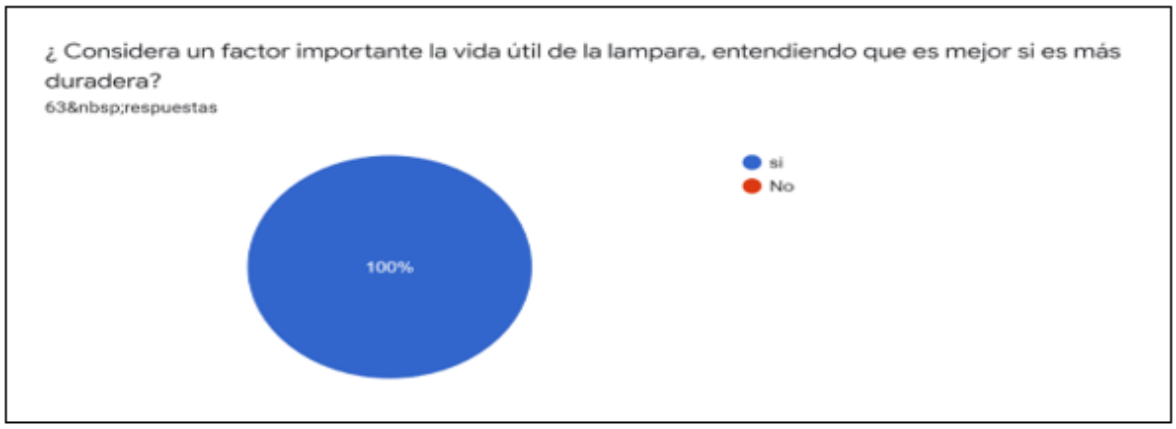
Es importante entender, si para el usuario, comerciante o productor es importante el color emitido por la luz, ya que este es un factor que ocasiona molestias y problemas de salud.

Tabla 7 *– Color de luz*

COLOR DE LUZ	
Blanco Cálido	27%
Amarillo Brillante	4.8%
Blanco Frio	33.3%
Blanco Neutro	34.9%
Total	100%

Fuente: Autoría propia

***Ilustración 13** - Pregunta No. 4 de la encuesta*

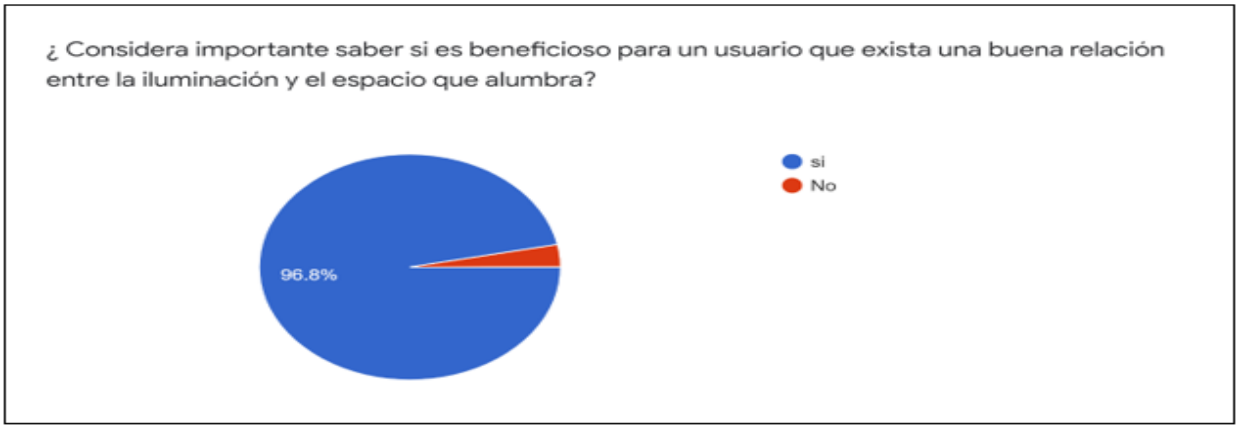


Pregunta 4. Encuesta (fuente: autores)

Fuente: Autoría propia

Se valida que para el 100% de la población encuestada es importante la vida útil de los equipos.

***Ilustración 14** - Pregunta No. 5 de la encuesta*



Pregunta 5. Encuesta (fuente: autores)

Fuente: Autoría propia

La pregunta busca detallar la importancia para un usuario, la importancia de que exista una buena iluminación por cada espacio dentro del túnel.

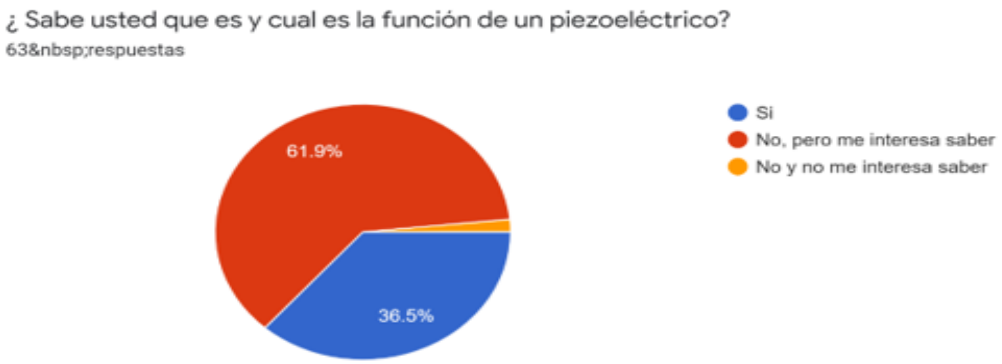
***Tabla 8** – Relación Luz -Espacio*

RELACIÓN LUZ - ESPACIO	
Si	69.8%
No	30.2%
Total	100%

Fuente: Autoría propia

Se busca entender el conocimiento de las partes interesadas frente a la tecnología de piezoeléctricos y su posible interés.

***Ilustración 15** - Pregunta No. 6 de la encuesta*



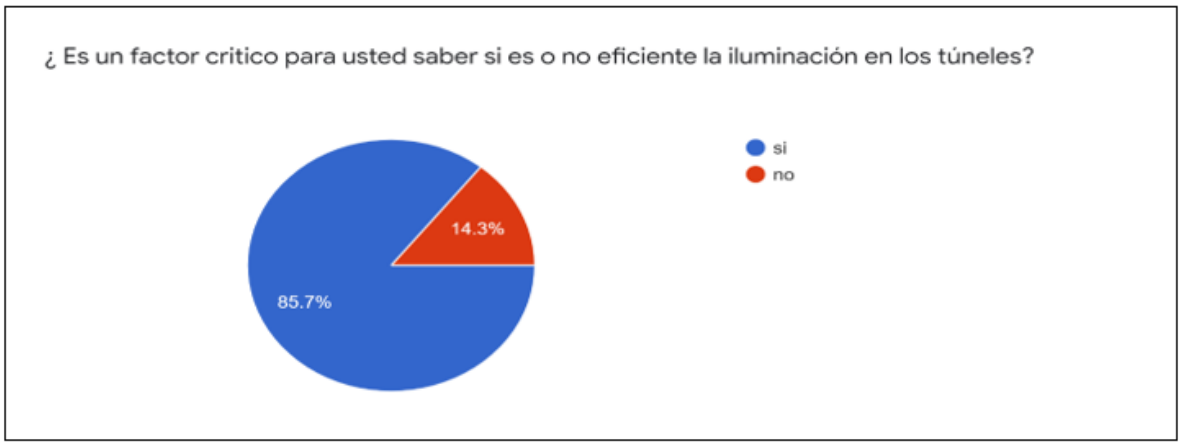
Pregunta 6. Encuesta (fuente: autores)

***Tabla 9** – Piezoeléctrico*

PIEZOELÉCTRICO	
Si	36.5%
No, pero me interesa saber	61.9%
No, y no me interesa saber	1.6%
Total	100%

***Fuente:** Autoría propia*

Ilustración 16 - Pregunta No. 7 de la encuesta



Pregunta 7. Encuesta (fuente: autores)

Fuente: *Autoría propia*

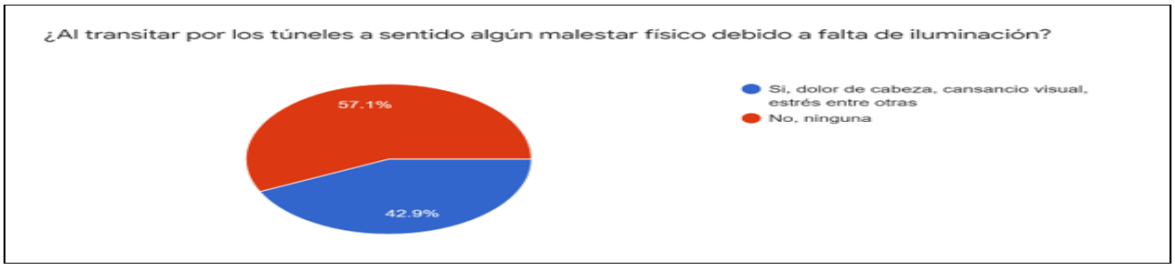
Es de gran importancia entender de manera detallada, si para los usuarios y demás partes interesadas es importante saber si la iluminación es eficiente.

Tabla 10 *– Iluminación eficiente*

ILUMINACIÓN EFICIENTE	
Si	69.8%
No	30.2%
Total	100%

Fuente: *Autoría propia*

Ilustración 17 - Pregunta No. 8 de la encuesta

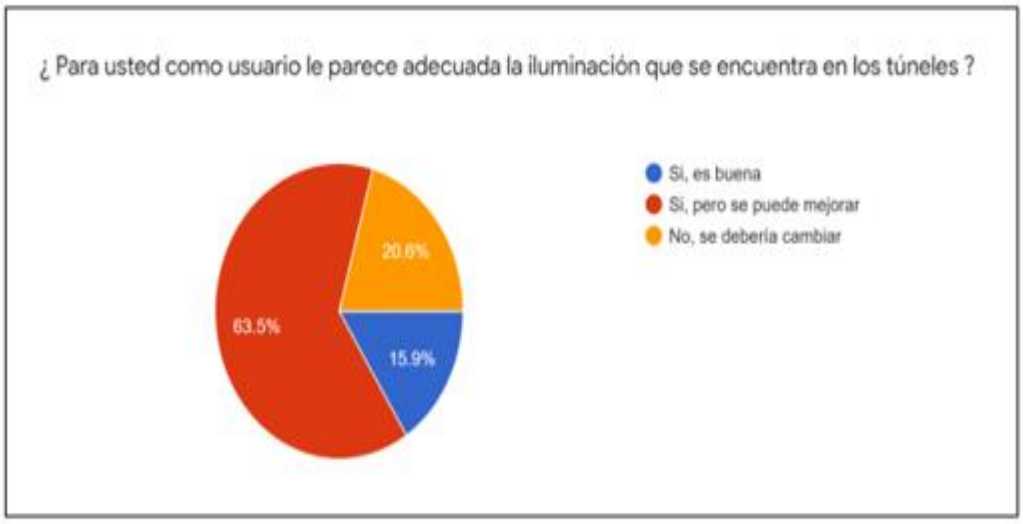


Pregunta 8. Encuesta (fuente: autores)

Fuente: Autoría propia

Es importante entender la percepción de las partes interesadas, referentes a la iluminación en túneles.

Ilustración 18 - Pregunta No. 9 de la encuesta



Fuente: *Autoría propia*

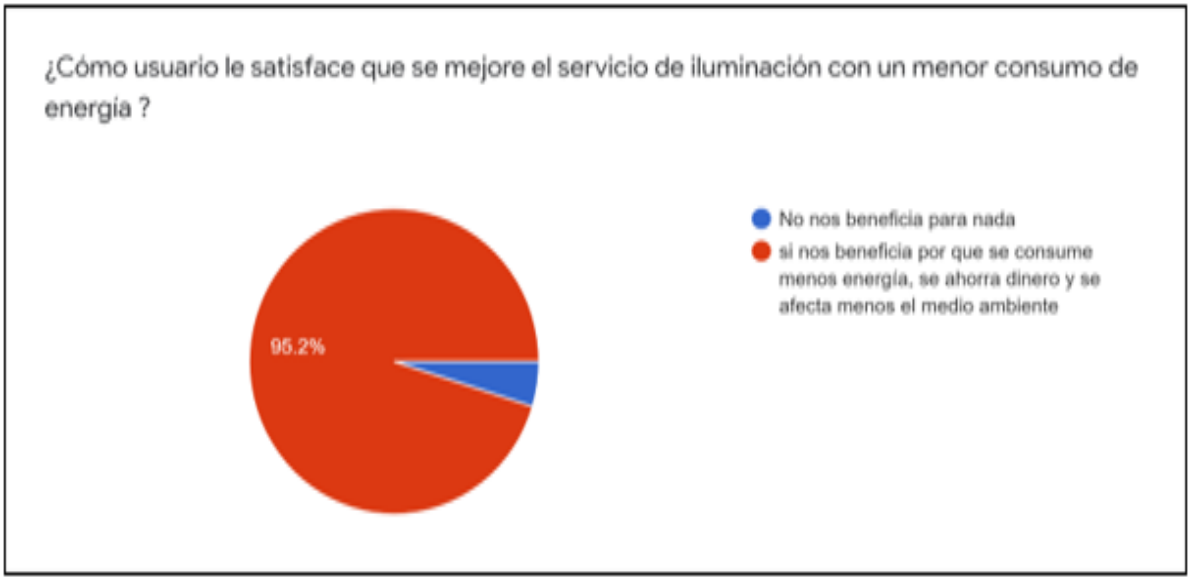
Tabla 11 – percepción Iluminación

PERCEPCIÓN ILUMINACIÓN	
Si, es buena	15.9 %
Si, pero puede mejorar	63.5%
No, se debería cambiar	20.6%
Total	100%

Fuente: *Autoría propia*

Permite diagnosticar en qué porcentaje los usuarios han sentido alguna molestia de salud debido a la iluminación.

Ilustración 18 - Pregunta No. 9 de la encuesta



Pregunta 9. Encuesta (fuente: autores)

Fuente: *Autoría propia*

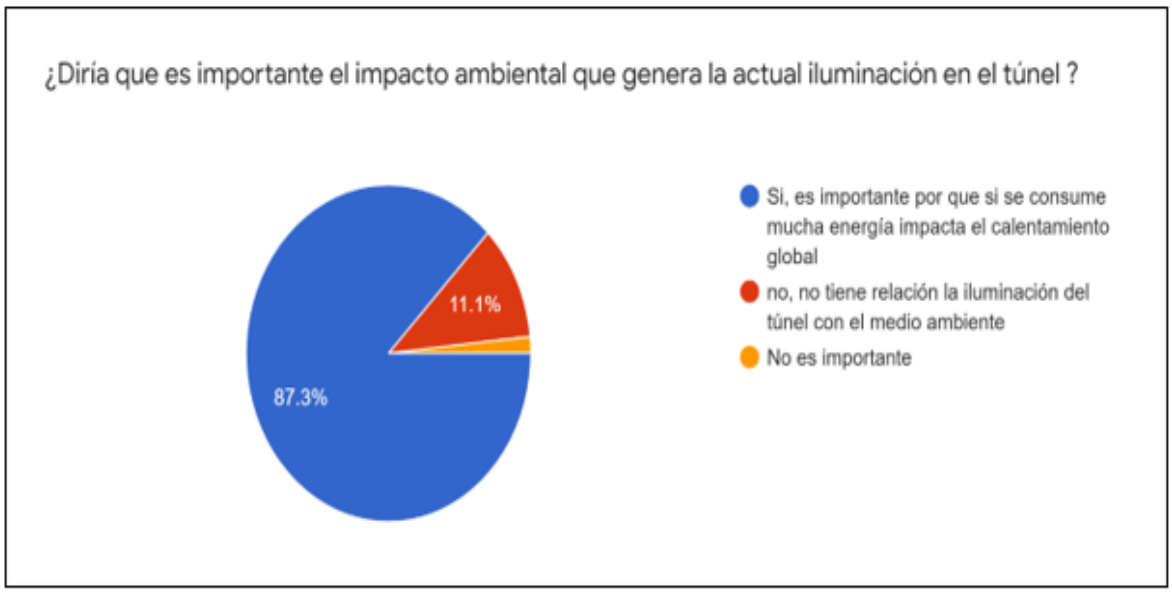
Qué tanta importancia tiene para las partes interesadas el consumo de energía que se genera actualmente en el túnel y si es de beneficio.

Tabla 11 – Consumo de energía

CONSUMO DE ENERGÍA	
Sí, es buena	71.4%
No, es buena y se puede mejorar	28.6%
Total	100%

Fuente: *Autoría propia*

Ilustración 19 - Pregunta No. 10 de la encuesta



Pregunta 10. Encuesta (fuente: autores)

Fuente: *Autoría propia*

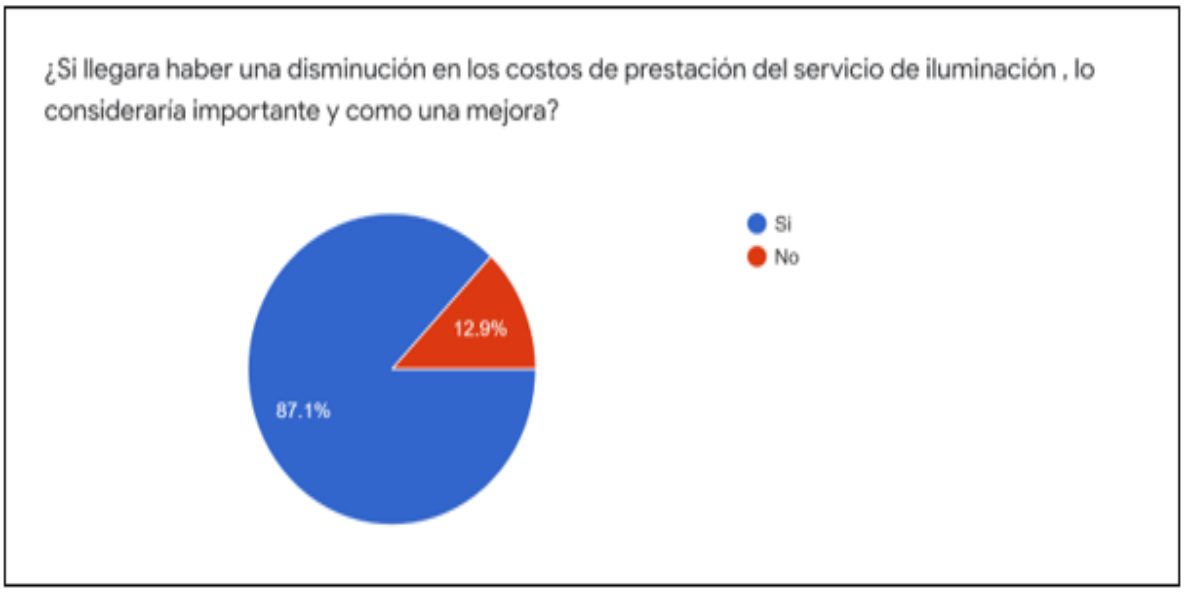
Que tan importante sería para las partes interesadas un posible impacto ambiental.

Tabla 12 – Impacto ambiental

IMPACTO AMBIENTAL	
Si, es importante, porque si se consume mucha energía impacta el calentamiento global	87.3%
No, no tiene relación la iluminación del túnel con el medo ambiente	11.1%
No es importante	1.6%
Total	100%

Fuente: *Autoría propia*

Ilustración 20 - Pregunta No. 12 de la encuesta



Pregunta 12. Encueta (fuente: autores)

Fuente: *Autoría propia*

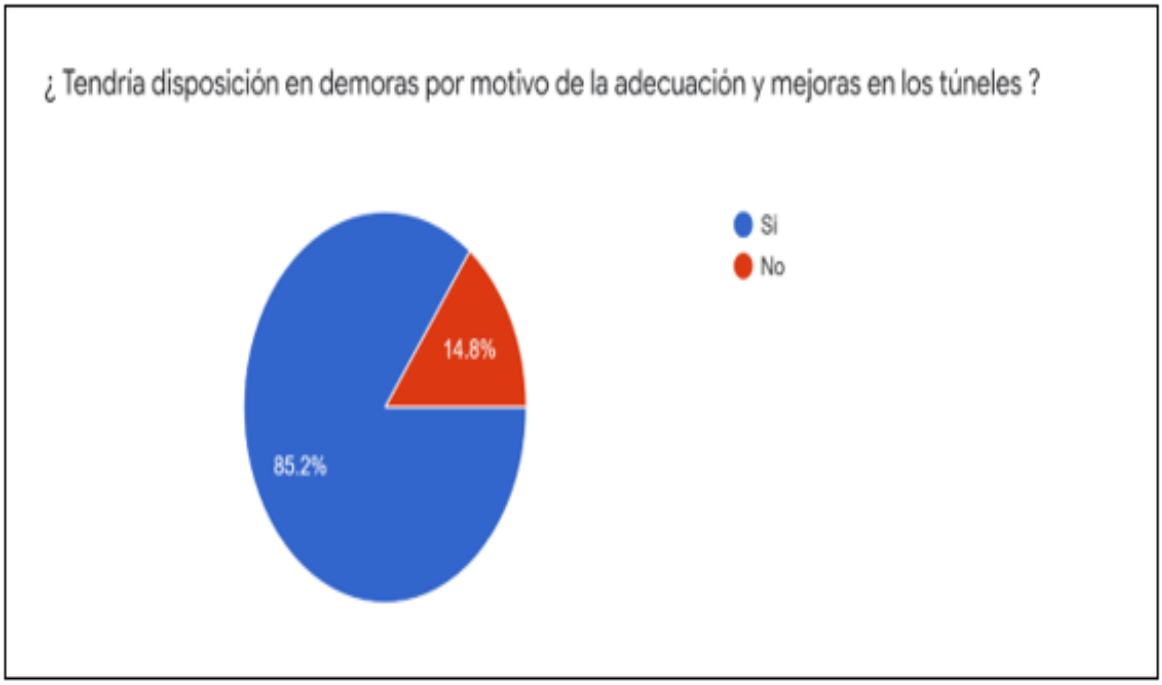
Cuál es la perspectiva de las partes interesadas frente a una posible disminución económica.

Tabla 12 – Disminución de consumo

DISMINUCIÓN DE CONSUMO	
Si	87.1%
No	12.9%
Total	100%

Fuente: *Autoría propia*

Ilustración 21 - Pregunta No. 13 de la encuesta



Pregunta 13. Encuesta (fuente: autores)

Fuente: *Autoría propia*

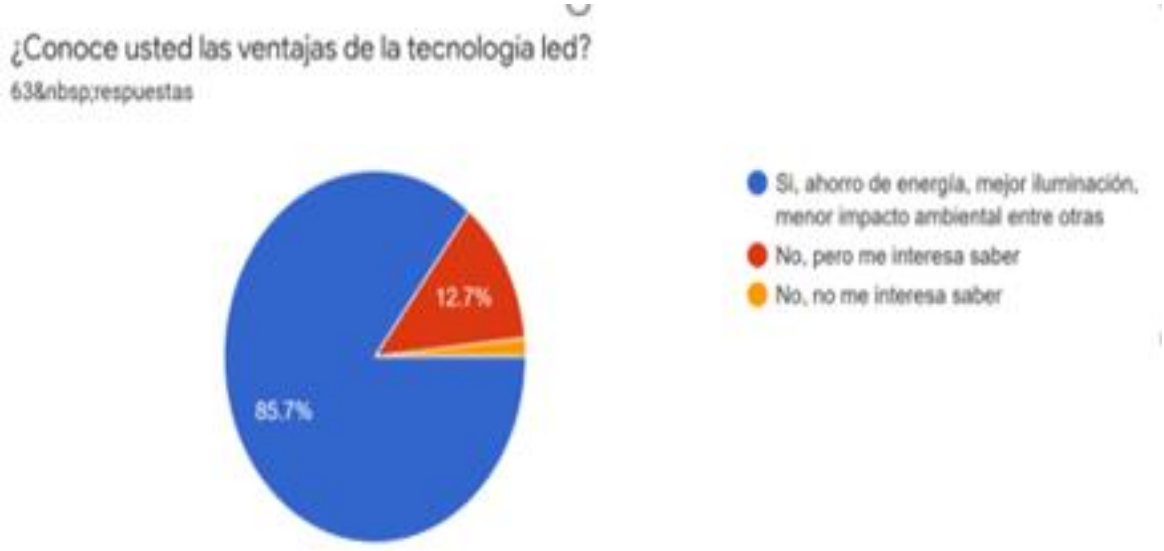
Validar la opinión frente a las posibles demoras en caso de llevar a cabo las adecuaciones en los túneles.

Tabla 13 – Demora

DEMORAS	
Si,	87.1%
No	12.9%
Total	100%

Fuente: *Autoría propia*

Ilustración 22 - Pregunta No. 14 de la encuesta



Fuente: *Autoría propia*

La encuesta muestra el conocimiento de las partes interesadas para las ventajas de la iluminación LED.

Tabla 14 – Ventajas de iluminación

VENTAJAS ILUMINACIÓN LED	
Si, ahorro de energía, mejor iluminación, menor impacto ambiental entre otros.	85.7%
No, pero me interesa saber	12.7%
No, no me interesa saber	1.6%
Total	100%

Fuente: *Autoría propia*

Ilustración 22 - Pregunta No. 15 de la encuesta.



Fuente: *Autoría propia*

Tabla 15 – Costo Dispuesto a pagar

COSTO DISPUESTO A PAGAR POR PIEZOELÉCTRICO	
Menos de $ 1.000.000	57.4%
Más de $ 1.000.000	36.1%
Hasta $ 2.000.000	6.5%
Total	100%

Fuente: Autoría propia

Se Agregaron algunas de las preguntas más importantes con sus respectivos resultados para evidenciar las necesidades de la población encuestada, con base a eso se realizan las siguientes conclusiones:

- **Producto:** Referente al producto en su gran mayoría la población no está satisfecha en un 100% con la iluminación que se encuentra actualmente instalada en los túneles y en ello se reflejan temas como el color de la iluminación en la que la gran mayoría de usuarios, funcionarios, comerciantes y demás partes

interesadas indican que la luz debería ser de color Blanco neutro con un 34.9 %, y por ningún motivo esperarían una luz amarilla. Asimismo, se detalla un interés muy enfático en la vida útil del producto, la cual para ellos es un factor muy relevante esto se evidenció con un 98.6 %, de igual manera se referencia que la tecnología de iluminación que prefiere la población que interactúa con el servicio preferiría una Iluminación LED, se puede detallar de manera más clara en donde se elige la opción LED con un 98.4%

- **Impacto ambiental:** Es de suma importancia para las partes interesadas, el impacto ambiental que se produce producto del servicio, por tal razón se identifica que más del 80% de la población prefiere cambiar la iluminación con tal de generar un menor impacto ambiental, es bien sabido que el consumo de energía es un factor que impacta más del 60% en la huella ambiental referente al calentamiento global.

- **Impacto Social: R**eferente al impacto social, los usuarios en un 74.3% manifiesta que les gustaría un cambio en la iluminación de túneles, así mismo entienden la iluminación actual es buena sin embargo consideran en un 63.9 % que se puede mejorar, de igual manera el 42.9% admite haber sentido alguna molestia física debido al cansancio producto de la iluminación por tal razón es imperativo evaluar un posible cambio en la iluminación con el fin de brindar un mejor y más eficiente servicio.

- **Impacto económico:** Referente a el factor económico es para las partes interesadas un factor de alto impacto en el proyecto ya que al reducir según la encuesta para más del 80% de la población encuestada es importante lograr una disminución en los costos por consumo de energía en el servicio, adicional a ello el más del 70% considera que la iluminación led es asequible y más eficiente y tan solo un poco más del 30% estaría dispuesto a pagar más de $5.000.000 por la instalación de piezoeléctrico.

2.11 Capacidad del Proyecto: El proyecto se basa específicamente en el estudio que se realizará para el túnel de Boquerón, el cual se encuentra en la Vía Bogotá - Villavicencio, para un inicial se trabajaría con licitaciones públicas y sólo en vías públicas y para túneles, aunque cabe recalcar que este se puede aplicar a cualquier tipo de iluminación pública y de tipo organizacional privado.

Para entender un poco mejor la oferta y la demanda, se realiza el estudio en base a datos de la plataforma SECOP (Sistema electrónico de contratación pública), en el cual se puede evidenciar las inversiones realizadas por parte del gobierno para procesos de cambio de Iluminación LED y cambio de fuentes de energía renovables, Asimismo se va a tomar como fuente de referencia los pronósticos de inversión anuales en iluminación y energías renovables por parte de UPME (unidad de planeación minero energética), con esta se pretende realizar el pronóstico de ventas por medio del método de suavización exponencial .

La frecuencia de este tipo de licitaciones ha crecido con el transcurso de los años debido a la necesidad de optimizar los procesos de iluminación pública, frente a temas económicos y especialmente medioambientales ya que este último ha sido un foco a atacar por parte de los gobiernos al poder tanto del país como a nivel mundial lo que desencadena en procesos de cambio frecuente, a continuación, se referencian algunos de los datos del SECOP que servirán para la ejecución del plan de ventas:

- ***PRESTACIÓN DE SERVICIOS LOGÍSTICOS PARA EL CAMBIO DE ILUMINACIÓN LED DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO PARA EL MUNICIPIO DE SAN MARTÍN DEPARTAMENTO DEL META.***

  Cuantía: $1,656,431,607

  Fecha: 2022-10-14

- ***IMPLEMENTACIÓN PROYECTO PILOTO DE SOLUCIONES INDIVIDUALES DE ENERGÍA RENOVABLE PARA VIVIENDAS RURALES EN ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL MUNICIPIO DE FUNDACIÓN – MAGDALENA, VEREDAS: CABRERO, DESCANSO, CRISTALINA, CRISTALINA BAJA, CRISTALINA MEDIA, CRISTALINA ALTA, GALAXIA, LOS OSPINA, EL OSCURO, BERLIN, BERLIN BAJÓ, EL PORVENIR, EL SILENCIO, EL PROGRESO, EL CINCUENTA, EL MARCO, BETANIA, RIO ESCONDIDO, MONTE BOY, VEGA GRANDE, CHINCHICUA.***

  Cuantía: $8,085,424,263

  Fecha: 2020-10-27

  Cód. Secop 1: 20-1-212854

  Número del Proceso: 009-2020

- ***OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO EN EL MUNICIPIO DE SAN LUIS DE CUBARRAL, DEPARTAMENTO DEL META.***

  Cuantía: $1,647,163,976

  Fecha: 2019-10-17

  Cód. Secop 1: 19-1-206451

  Número del Proceso: LP 002 2019

- ***REALIZAR LA MODERNIZACIÓN A TODO COSTO EN TECNOLOGÍA LED DE LA ILUMINACIÓN PÚBLICA EXISTENTE EN LAS COMUNAS 1, 2, 12 Y 13 DEL MUNICIPIO DE IBAGUÉ, SEGÚN ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ESTABLECIDAS POR EL INSTITUTO DE FINANCIAMIENTO, PROMOCIÓN Y DESARROLLO DE IBAGUÉ – INFIBAGUÉ.***

  Cuantía: $9,122,930,156

Fecha: 2019-07-12

Cód. Secop 1: CO1.NTC.850878

Número del Proceso: LP-04-2019

- ***REALIZAR LA MODERNIZACIÓN A TODO COSTO EN TECNOLOGÍA LED DE LA ILUMINACIÓN PÚBLICA EXISTENTE EN LAS COMUNAS 3, 4, 5 Y 6 DEL MUNICIPIO DE IBAGUÉ, SEGÚN ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ESTABLECIDAS POR EL INSTITUTO DE FINANCIAMIENTO, PROMOCIÓN Y DESARROLLO DE IBAGUÉ – INFIBAGUÉ***.

  Cuantía: $9,121,826,519

  Fecha: 2019-08-21

  Cód. Secop 1: CO1.NTC.874232

  Número del Proceso: LP-06-2019

- ***CONSTRUCCION DE VIAS URBANAS, ILUMINACIÓN LED E INSTALACIÓN DE MOBILIARIO URBANO EN EL BARRIO OLÍMPICO DEL MUNICIPIO DE SAN MARTÍN DE LOS LLANOS – META#8221.***

  Cuantía: $939,943,649

  Fecha: 2018-01-25

  Cód. Secop 1: 17-1-184134

  Número del Proceso: LP 005-2018

- ***REALIZAR LA MODERNIZACIÓN A TODO COSTO EN TECNOLOGÍA LED DE LA ILUMINACIÓN PÚBLICA EXISTENTE EN LA COMUNA 1 y COMUNA 2 DEL MUNICIPIO DE IBAGUÉ, SEGÚN ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ESTABLECIDAS POR EL INSTITUTO DE FINANCIAMIENTO, PROMOCIÓN Y DESARROLLO DE IBAGUÉ - INFIBAGUÉ.***

  Cuantía: $5,430,935,572

  Fecha: 2018-07-26

  Cód. Secop 1: CO1.NTC.438182

  Número del Proceso: LP-06-2018

- ***CONSTRUCCION DE VIAS URBANAS, ILUMINACIÓN LED E INSTALACIÓN DE MOBILIARIO URBANO DEL MUNICIPIO DE SAN MARTÍN DE LOS LLANOS.***

  Cuantía: $939,689,262

  Fecha: 2017-09-29

Cód. Secop 1: 17-1-179914

Número del Proceso: LP 002-2017

- ***CONSTRUCCION Y AMPLIACION DE REDES ELÉCTRICAS URBANAS Y ALUMBRADO PÚBLICO CON ILUMINACIÓN LED URBANIZACIÓN SAN JORGE, ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO VILLAVICENCIO***

  Cuantía: $884,488,991

  Fecha: 2016-12-23

  Cód. Secop 1: 16-1-166512

  Número del Proceso: LP 004-2016

- ***CONTRATAR EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO EN EL ÁREA URBANA Y RURAL DEL MUNICIPIO DE IBAGUÉ - TOLIMA, EN FORMA CONTINUA Y BAJO LOS PARÁMETROS DE EFICIENCIA Y CALIDAD ESTABLECIDOS POR LA AUTORIDAD COMPETENTE, PARA UNA CAPACIDAD INSTALADA LUMINARIAS DE VARIOS TIPOS EXISTENTES Y CAMBIO LED, TANTO EN EL ÁREA URBANA COMO RURAL DEL MUNICIPIO.***

  Cuantía: $8,300,689,716

  Fecha: 2016-04-29

  Cód. Secop 1: 16-1-155655

  Número del Proceso: LP- 001 DE 2016

- ***CONTRATAR LA ELABORACIÓN DE DISEÑOS ELÉCTRICOS Y FOTOMÉTRICOS EL SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE LA LAS LUMINARIAS LED DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO EN EL SECTOR URBANO DEL MUNICIPIO DE IBAGUÉ***

  Cuantía: $3,506,917,624

  Fecha: 2015-12-05

  Cód. Secop 1: 14-1-128983

  Número del Proceso: Abierto

  Última revisión: 2020-05-07

- ***CONTRATAR A TODO COSTO EL SUMINISTRO E INSTALACIÓN PARA LA NORMALIZACIÓN RETIE DE LAS ESTRUCTURAS DE TRANSFORMADORES DE USO EXCLUSIVO EN EL SECTOR URBANO Y RURAL DEL MUNICIPIO DE IBAGUÉ.***

  Cuantía: $35,269,707,596

Fecha: 2014-12-26

Cód. Secop 1: 14-1-129677

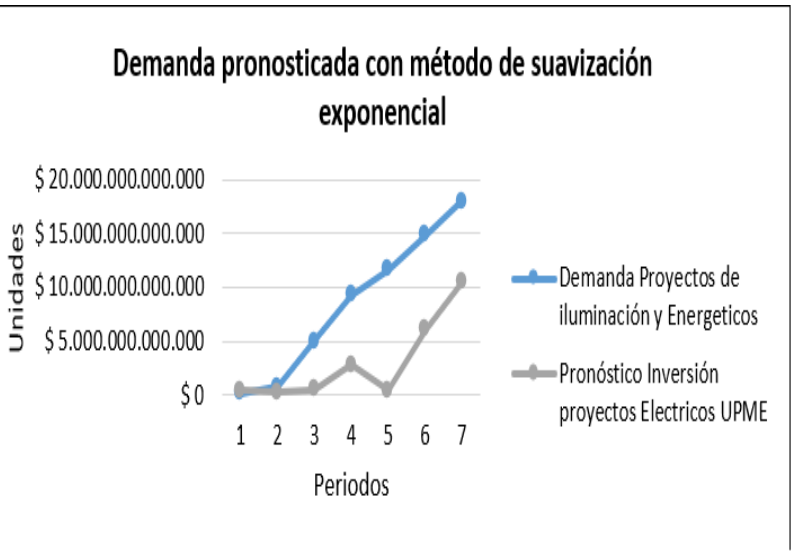
Número del Proceso: Abierto.

Última revisión: 2020-04-15

Con base a esto, se utilizan los datos históricos de la inversión de proyectos de energía renovable e iluminación registrados en la plataforma de Colombia compra eficiente, los contratos tanto abiertos como los ya ejecutados con los cuales se genera el plan de ventas:

Ilustración 23 – Demanda – Plan de ventas

0,5	
Demanda Proyectos de iluminación y Energeticos	Pronóstico Inversión proyectos Electricos UPME
$ 207.268.603.121	$ 424.078.000.000
$ 809.475.369.585	$ 315.673.301.561
$ 4.970.460.852.060	$ 562.574.335.573
$ 9.297.808.093.470	$ 2.766.517.593.816
$ 11.679.404.217.940	$ 424.078.000.000
$ 14.822.664.613.292	$ 6.051.741.108.970
$ 17.965.925.008.644	$ 10.437.202.861.131
$ 21.109.185.403.996	$ 14.201.563.934.887



Fuente: *Autoría propia*

3. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

La planificación del proyecto está enfocada en desarrollar un estudio de factibilidad técnico y económico, que dé a conocer las ventajas de un sistema de iluminación Led en los túneles

de la vía Bogotá – Villavicencio, tomando como fuente de alimentación la energía adquirida por medio de elementos piezoeléctricos.

3.1 OBJETIVOS

Para la formulación de los objetivos se buscó establecer todos los criterios y aspectos necesarios para la formación adecuada de la presente investigación, en torno al desarrollo del proyecto. A continuación, se presentan los objetivos que se esperan alcanzar con el proyecto de un sistema de iluminación Led interior en túneles con alimentación de piezoeléctrico y el análisis de los mismos.

3.1.1. Objetivo General

Establecer la viabilidad económica y operativa para el montaje de un sistema de iluminación LED con una fuente de alimentación de energía adquirida por medio de elementos piezoeléctricos, a través de análisis de inversión y parámetros de rentabilidad, que sean aplicables a los túneles actuales de la vía Bogotá – Villavicencio.

3.1.2. Objetivos Específicos

- Cuantificar las necesidades de demanda energética requeridas para garantizar el abastecimiento de la misma en la implementación del nuevo sistema de iluminación a través de un análisis técnico que permita seleccionar los piezoeléctricos necesarios en los túneles de la vía Bogotá – Villavicencio.
- Determinar la mejora de la implementación de iluminación Led en el impacto ambiental, desarrollando estrategias que permitan mitigar la huella de carbono producida, a partir de un estudio ambiental que clasifique y delimite impactos críticos en los sistemas de iluminación de los túneles de la vía Bogotá – Villavicencio.
- Estimar la eficiencia del sistema de iluminación actual que permita identificar su influencia sobre la salud, la movilidad y la accidentalidad de los diferentes actores viales, por medio de un estudio técnico - operativo en los sistemas de iluminación de los túneles de la vía Bogotá – Villavicencio.

A continuación, se realiza un análisis de los objetivos planeados en el presente proyecto, definiendo las acciones para abordar los mismos, los limitantes que se pueden presentar en el desarrollo del proyecto, los riesgos y los resultados o beneficios que se podrían obtener a través del desarrollo y posible implementación del proyecto.

3.1.3. Acciones para abordar los objetivos

Para el proyecto de sistema de iluminación Led a través del suministro energético con piezoeléctricos, se identifican las siguientes acciones que permiten abordar cada uno de los objetivos planteados anteriormente. A continuación, se explicará brevemente como se pueden conseguir los objetivos y desarrollar el proyecto.

Determinar la viabilidad económica:

La viabilidad económica indica el potencial que tiene el proyecto para su desarrollo e implementación, además sirve de base para determinar la rentabilidad de la inversión con respecto a los aspectos técnicos, operativos, económicos, comerciales, entre otros, que permita un retorno de la inversión, y de manera conjunta, impactar positivamente en el bienestar de los actores viales que interactúan con los túneles del alcance del presente proyecto. La viabilidad económica resultará de gran importancia, dado que ésta permitirá atraer inversión y la financiación del proyecto. Al concluir el diagnóstico, debemos poder determinar si el proyecto es técnicamente posible y generará futuros, es decir, habrá claridad sobre la perspectiva de éxito del proyecto.

Las acciones para determinar la viabilidad económica son:

- Desarrollar el estudio de mercado resaltando la propuesta de valor del proyecto, satisfacer una necesidad real, analizar los proyectos de inversión de la concesión vial que desarrolla obras de infraestructura o mantenimiento sobre la calzada de la vía Bogotá – Villavicencio. Debemos determinar si hay un mercado potencial, contemplando el presupuesto de inversión, análisis de industrial, posibles competidores.

- Desarrollar el estudio financiero que permita identificar si se cuenta con la capacidad económica de desarrollar o implementar el proyecto, y aún más importante, si el proyecto va a resultar para el(los) inversionista(s). Debemos en este estudio: Estimar inversión inicial (recursos propios o apalancamiento con entidades financieras), posibles costos fijos y variables, beneficios, relación calidad – precio, análisis de proveedores y especificación de alternativas de recursos o insumos con precios competitivos sin sacrificar la utilidad del ejercicio o la rentabilidad del proyecto.

Las acciones para determinar la viabilidad técnica y operativa nos permitirán definir los recursos (personas – mano de obra y características generales y específicas de la misma, maquinaria, recursos, insumos / materias primas, procesos), tecnología e infraestructura requerida para el desarrollo del proyecto. Adicionalmente, y no menos importante, se debe estructurar el análisis de capacidades y la ingeniería de producto del sistema de iluminación, con todos los detalles técnicos y especificaciones, procesos operacionales que permitan estimar tiempos de ejecución y determinar recursos, insumos y suministros mencionados anteriormente.

Las acciones para determinar la viabilidad ambiental y el impacto positivo del proyecto al medio ambiente son las siguientes: Revisar toda la legislación y normatividad relacionada con el uso o implementación de energías limpias y más eficientes, así como también, se deben contemplar los estándares, regulaciones, incentivos y limitantes planteados por el gobierno nacional y regional o local. Así mismo, se debe analizar la información y requerimientos técnicos de la iluminación vial, para determinar los impactos medio ambientales, consolidar una matriz donde se consoliden estos impactos y se clasifiquen de acuerdo con la gravedad o importancia de los mismos, con el fin permitir un análisis objetivo y plantear soluciones que permitan mitigar o eliminar dichos impactos sobre el medio ambiente.

Además, referente a la salud de los diferentes actores viales que circulan por los tramos que están en el alcance del presente proyecto, es necesario realizar un análisis de las afectaciones y factores críticos a la salud que se pueden presentar por la iluminación y enfocar a los sistemas de tradicional actual de los túneles en la vía Bogotá – Villavicencio,

y validar de qué manera el sistema propuesto puede mitigar dichas afecciones y mejorar las condiciones de salud o proporcionar bienestar a las personas que circulan por los túneles alcance del proyecto.

Para el alcance de los objetivos se propone el siguiente cronograma de actividades:

Ilustración 24 – Cronograma de proyecto.

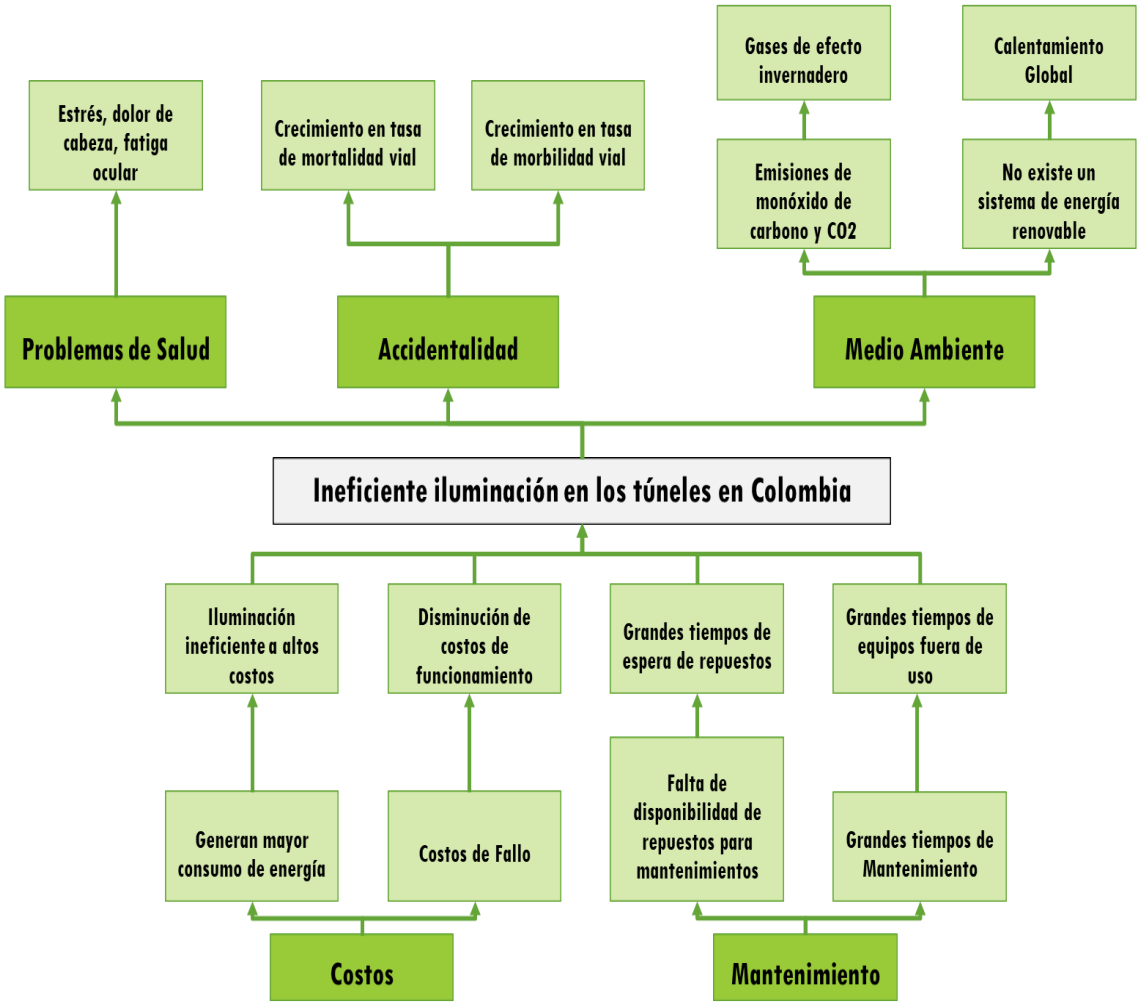
Meses	Septiembre				Octubre				Noviembre				
No. Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5
Dias Semana	5/9	12/16	19/23	26/30	3/7	10/14	18/21	24/28	31/4	8/11	15/18	21/25	28/2
Viabilidad tecnica y economica													
Contexto	●	●	●	●	●								
Estudio de mercado					●	●	●						
Analizar proyectos de inversión de conseción vial					●	●	●						
Presupuesto de inversión					●	●	●						
Analisis de capacidad financiera					●	●	●						
Estimar inversión inicial					●	●	●						
Costos fijos - variables					●	●	●						
Analisis de proveedores					●	●	●						
Marco Legal					●	●	●						
Viabilidad Técnica y operativa													
Requerimientos técnicos de iluminación vial								●	●				
ingenieria del producto								●	●	●			
Analisis de capacidades								●	●				
mapa del proceso								●	●				
Detalles técnicos y operativos de los procesos								●	●	●			
Recursos											●	●	
Análisis ambiental											●	●	
Matriz de impactos ambientales											●	●	
Conclusiones de resultados de la matriz											●	●	
Analisis de los factores de iluminación que afectan la salud												●	●
Analisis del sistema propuesto y el impacto positivo a la salud												●	●

Fuente: *Autoría propia*

3.2. ÁRBOL DE OBJETIVOS

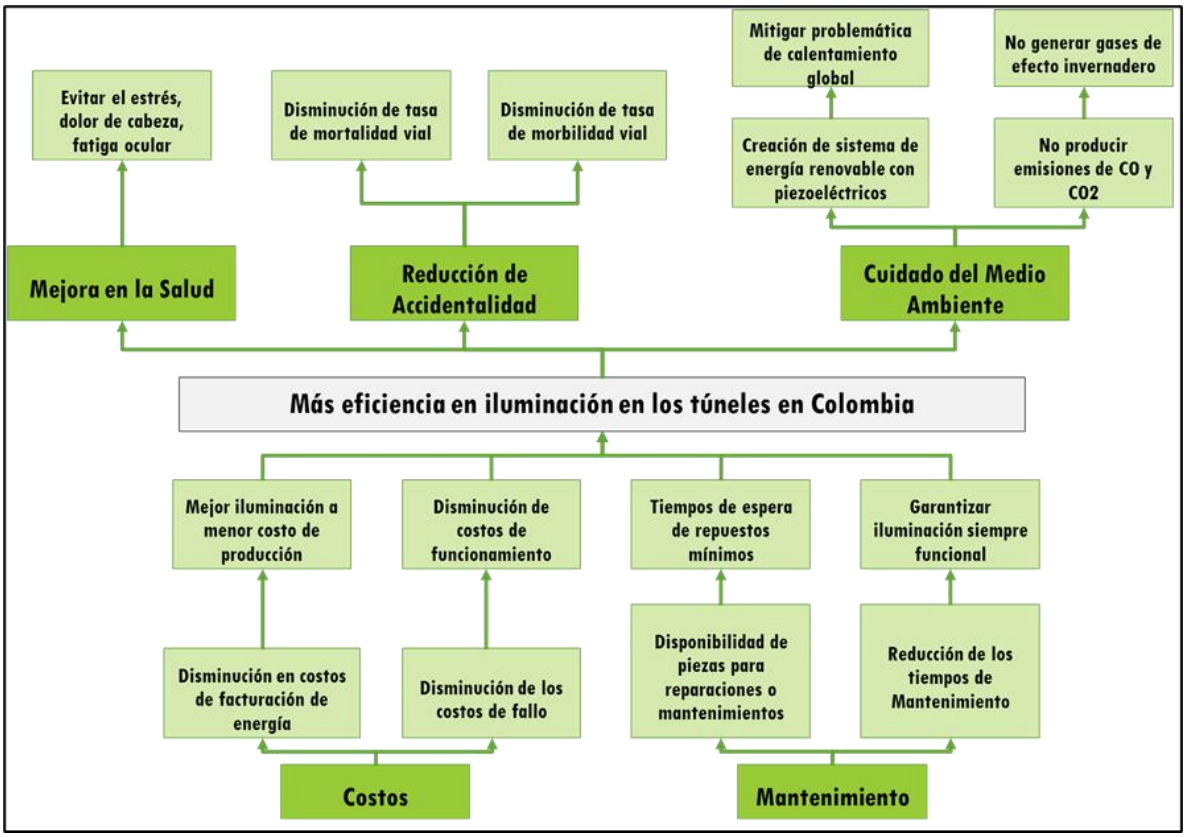
A continuación, se presenta el árbol de objetivos del proyecto, en el cual se expone el problema central a partir del árbol de problemas (análisis causa - efecto) (Ilustración 4) y se presenta la situación contraria o positiva a través del árbol de objetivos (Ilustración 5), de acuerdo con la metodología de marco lógico:

Ilustración 25 – Árbol problemas



Fuente: *Autoría propia*

Ilustración 26 – Árbol objetivos



Fuente: *Autoría propia*

3.3. Limitantes de los objetivos

Se identifican ciertas limitantes a los objetivos planteados en el presente proyecto, las cuales se describen a continuación:

Al cuantificar las necesidades de demanda energética, es muy probable que no se cuente con datos históricos, que permitan hacer estimaciones o comparaciones más exactas u objetivas, ya que la iluminación actual consume mucha más energía, cumpliendo con su misionalidad, en ese orden de ideas al querer extrapolar esta información a iluminación Led se obtendrá como resultado un consumo menor y por tal motivo, la demanda energética será mucho menor que la que actualmente abastece al sistema de iluminación tradicional. Cualquier variación significativa en los cálculos presupuestales representa cambios en los

cálculos económicos o financieros, lo cual impacta directamente en los análisis de viabilidad.

Otro limitante son los posibles cambios de normatividad, ya que si en algún momento se expide alguna norma que prohíba por algún motivo la instalación del piezoeléctricos o cambio de iluminación vial o el sistema de iluminación en los túneles puede llegar a ser un inconveniente para el proyecto.

Otro limitante es que, al momento de realizar el estudio ambiental, se calculan costos para corregir un impacto ambiental, los cuales pueden llegar a ser superiores al retorno de la inversión, por tal razón no sería viable y el proyecto fallaría.

Otro limitante se presenta en alguna situación social, ya que como se relaciona en los objetivos, se pretende realizar un estudio de la movilidad, del tránsito y el transporte, y una situación de alteración del orden público, de paro nacional, de algún actor vial afectaría el estudio, dado que los datos no serían los mismos que en condiciones normales.

3.4. Riesgos y cómo mitigarlos

En la siguiente tabla se identifican los riesgos del proyecto y el respectivo plan de acción en caso de que se llegue a materializar alguno.

Tabla 16 Riesgos del proyecto – Plan de mitigación

Número	Riesgo	Tipo	Plan de acción	Responsable
1	Variaciones del dólar que impacten directamente en la viabilidad económica y financiera.	Alto	Revisión constante de oferta de productos nacional o internacional, con el fin de prever sobrecostos de adquisición que afecten el modelo de análisis económico.	Autores
2	Sobrecostos no contemplados para la viabilidad operativa que puedan afectar la viabilidad económica u operativa	Alto	Definición objetiva de procesos para cuantificar recursos, tiempos, personal y presupuestos en general.	Autores

Número	Riesgo	Tipo	Plan de acción	Responsable
3	Actualización de normatividad relacionada con Retilap o uso de energías limpias o eficientes	Moderado	Cualquier cambio en la normatividad puede reflejar tanto demoras como mejoras en la definición de factibilidad del proceso, se debe revisar constantemente cualquier actualización de leyes, resoluciones o demás documentos que influyan en el proyecto	
4	Falta de información o estudios de salud relacionados con el impacto directo de la iluminación con el bienestar de las personas	Moderado	Revisar estudios de seguridad y salud en el trabajo que permitan determinar riesgos a la salud asociados con la iluminación	Autores
5	Normatividad en materia de contratación – presupuestos y modelos de selección de oferentes	Alto	La contratación busca seleccionar la oferta más económica o de menor presupuesto, lo cual puede llevar a que se continúe con alimentación energética tradicional, se deben aprovechar incentivos normativos por uso de energías limpias o reducción de fuentes tradicionales en los procesos de selección en la contratación pública.	Autores

Fuente: *Autoría propia*

3.5. POLÍTICA DE CALIDAD

3.5.1. Sistema de Iluminación LED a través de piezoeléctrico

A continuación, se establece la política de calidad integral, en la cual se van a referenciar diferentes aspectos, no solo de calidad sino también temas de responsabilidad social empresarial, medio ambiente y seguridad y salud en el trabajo.

La política de calidad del proyecto se enfoca en realizar un estudio técnico y económico riguroso y objetivo sobre la utilización de iluminación Led y el uso de los piezoeléctricos, basándose en infografía de fuentes tales como revistas indexadas, proyectos de grado de pregrado, posgrados, maestrías y doctorados, experiencias de empresas o países que lo hayan implementado, páginas web de empresas productoras de los productos, entre otros, esto con el fin de abarcar la mayor cantidad de información que permita realizar un estudio técnico, fiable, factible y objetivo según las condiciones de los túneles de la vía Bogotá – Villavicencio, y así, mostrar las propiedades, la rentabilidad de la inversión, así como también, los beneficios y aportes del proyecto a la población que transita por los túneles que aún conservan los sistemas de iluminación tradicional, generando una responsabilidad frente al servicio que se presta a la ciudadanía y mejora continua del mismo, adicionalmente se debe revisar la normatividad legal vigente frente a el trabajo en obras civiles con el fin de documentar cada uno de los requisitos que se deben tener en cuenta en la posible ejecución del proyecto. Finalmente identificar cuáles son los aspectos ambientales que se producen con el actual sistema de iluminación y el impacto ambiental generado en cada uno de ellos, de esta manera se podrán clasificar y presentar una propuesta de mitigación, a través del nuevo sistema de iluminación con lámparas tipo Led y el uso de elementos piezoeléctricos, que permitan convertir la energía cinética en energía eléctrica como fuente de alimentación del sistema de iluminación.

3.5.2. Política de Salud

Como política de salud del proyecto se requiere analizar los factores de iluminación que tienen vínculo negativo con el ser humano y afectan su salud de manera directa o indirecta,

esto se puede realizar mediante el análisis de documentos y textos que hacen referencia a estos fenómenos. Así mismo, se debe identificar cuáles de estos factores se presentan con la iluminación actual de los túneles de la vía Bogotá – Villavicencio, tomando como fuente de información el estudio técnico y las fichas técnicas de los equipos que permitan enfocar estrategias que minimicen el impacto en la salud de los usuarios a través de un nuevo sistema de iluminación Led, que tenga como fuente de abastecimiento elementos piezoeléctricos, mitigando los factores negativos o dañinos directos o indirectos de salud para los diferentes actores viales que circulan por los túneles, objeto del alcance del presente proyecto.

3.5.3. Política Ambiental

La política ambiental del proyecto se enfoca en el análisis de los diferentes impactos ambientales, tanto de la iluminación como de las fuentes de energía, identificando factores y medios que estén generando impactos directos o indirectos ambientales críticos y se encuentren en la iluminación tradicional de los túneles de Bogotá - Villavicencio, así mismo,

es necesario clasificar, agrupar y evaluar estos factores por medio una matriz de impactos ambientales que brinde información suficiente para el cálculo de la huella de carbono generada actualmente, de esta manera se puede realizar el mismo procedimiento con otras alternativas, como la iluminación Led, y la fuente de alimentación tradicional, y de almacenamiento y alimentación a través de elementos piezoeléctricos, con el fin de tener información que se pueda comparar, evaluar e identificar cual es el mejor en términos medioambientales, sin sacrificar la rentabilidad del proyecto.

3.5.4. Política de Responsabilidad Empresarial

El proyecto en términos de responsabilidad empresarial, busca realizar un análisis de normatividad legal vigente, mediante el cual se obtengan los parámetros legales para las intervenciones y requerimientos de construcciones viales, intervenciones a infraestructura pública e impactos ambientales, adicional a ello, se busca plasmar todos

los requisitos obligatorios en términos de seguridad y salud en el trabajo en caso de requerir una construcción pública.

4. INGENIERÍA DEL PROYECTO

1. 4.1 EJECUCIÓN DEL PROYECTO

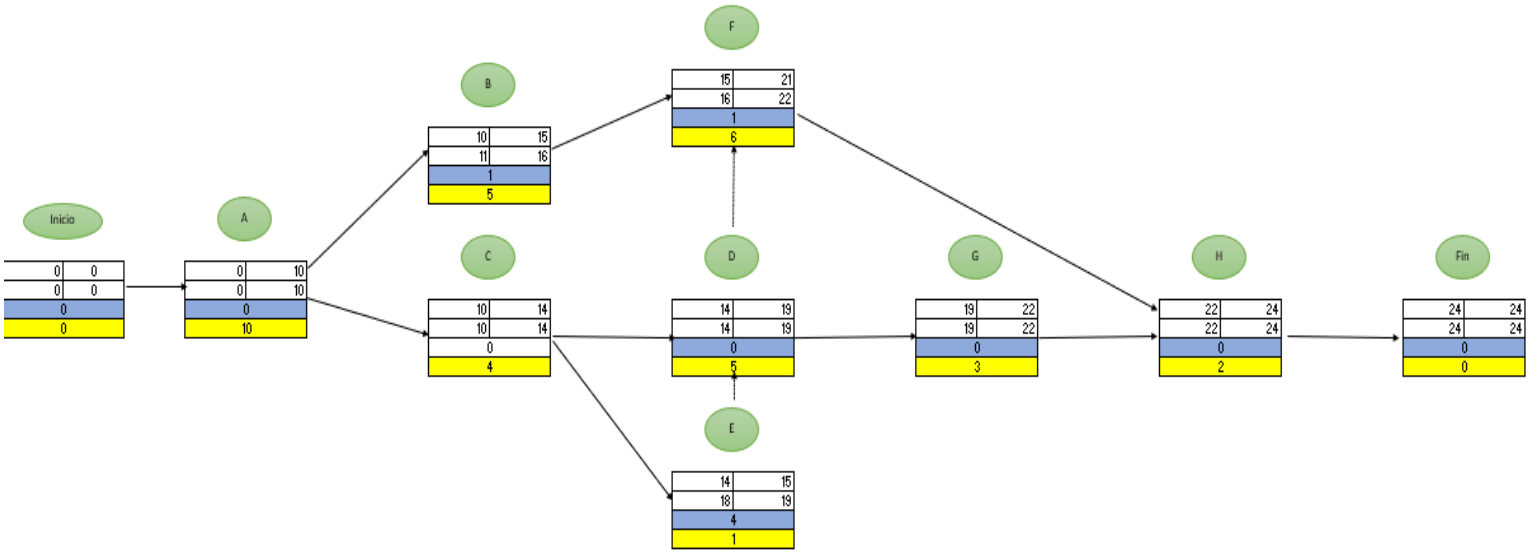
Se realiza en CPM del proyecto en el cual se incluyen todas las fases de estudio para el desarrollo del mismo.

Tabla 17 Ruta crítica del proyecto

CÓDIGO	ACTIVIDADES	PRECEDENCIAS	DURACIÓN (días)
A	Evaluación técnica		10
B	Rediseño	A	5
C	Análisis de proveedor	A	4
D	Selección de Tecnología	A - C	5
E	Elección proveedor	C	1
F	Planificar Proyecto	A-B -C-D -E	6
G	Determinar Recursos	F - E	3
H	Generar presupuesto	F-G	2

Fuente: *Autoría propia*

Ilustración 27 – Diagrama CPM



Fuente: *Autoría propia*

2. SEGÚN PUEDE EVIDENCIAR QUE EXISTE HOLGURA EN ALGUNAS TAREAS TALES COMO:

a) Rediseño

b) Elección de proveedor

c) Planificar proyecto

d) Determinar recursos

Que permite tener un tiempo discriminado en caso de necesitar durante la ejecución del estudio del proyecto

3. 4.3 REDISEÑO

Debido a que el cambio de iluminación no requiere un cambio de la infraestructura del túnel, sólo se plantea un cambio de luminarias lo cual no genera un rediseño en el sistema eléctrico ni de infraestructura, por otra parte si se debe generar una adecuación para los bancos de energía de almacenamiento de la energía que provenga del piezoeléctrico, a continuación se evidencia la propuesta para que los bancos de energía queden en la subestación que se encuentra al interior del túnel, en el cuarto de alimentación de esta forma se utilizará la misma infraestructura tanto física como electrónica y se generará un ahorro en la construcción y desarrollo de la misma, en la visita al lugar se tomaron las siguientes imágenes locativas:

Imágenes subestación: Las imágenes de la subestación del túnel en el túnel se agregan ya que en este lugar es donde se propone agregar los bancos de batería que almacena la energía producida por los piezoeléctricos, de esta manera se utiliza el mismo sistema de electricidad y se agrega el otro elemento para un óptimo funcionamiento.

Ilustración 28 – Subestación energía túnel



Fuente: *Concesión Coviandes (noviembre, 2022)*

Ilustración 29 – Subestación energía túnel (tableros)



Fuente: *Concesión Coviandes (noviembre, 2022)*

Ilustración 30 – Subestación energía túnel maquinaria de energía



Fuente: *Concesión Coviandes (noviembre, 2022)*

Ilustración 31 – Subestación energía túnel maquinaria de energía



Fuente: *Concesión Coviandes (noviembre, 2022)*

Ilustración 32 – Subestación energía túnel campo baterías



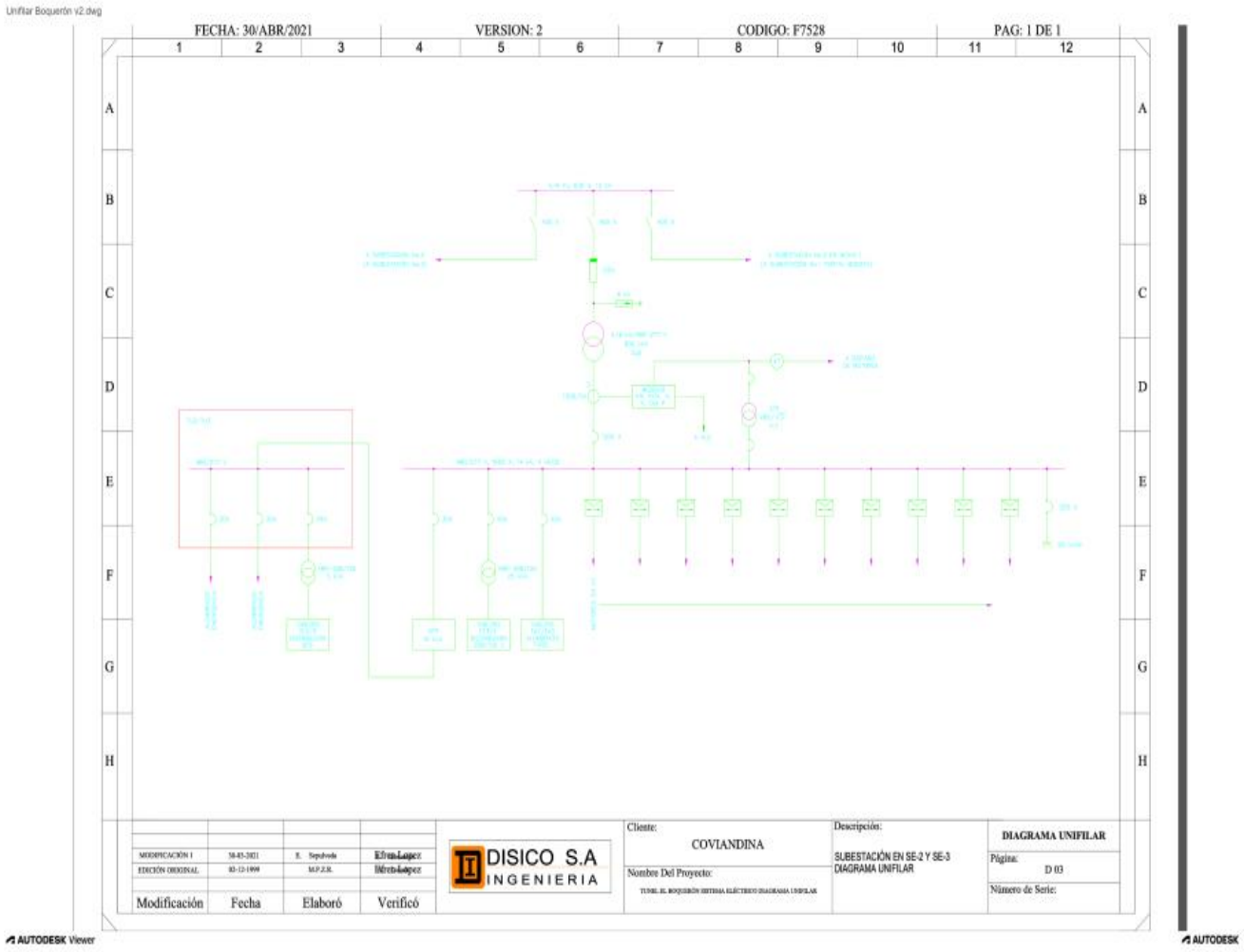
Fuente: *Concesión Coviandes (noviembre, 2022)*

Este campo, funciona para adicionar las baterias que almacenarian la energía generada por el piezoeléctrico.

1. Planos

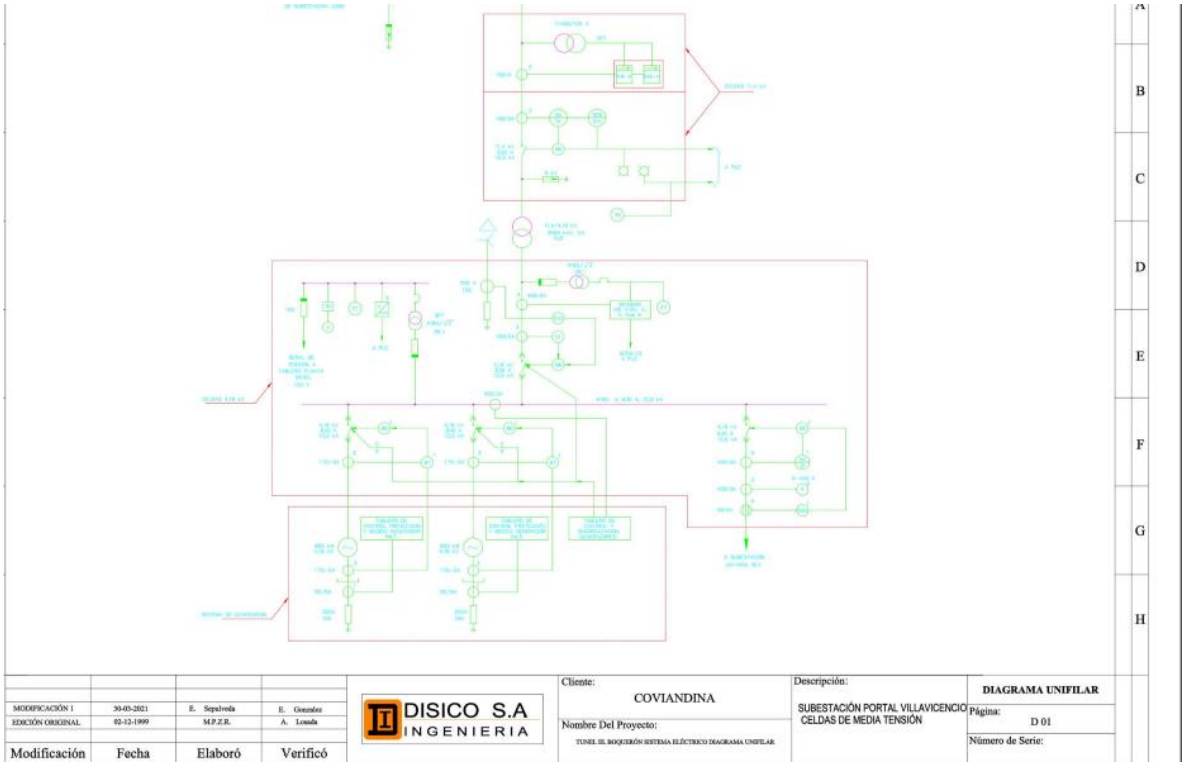
Para fines del proyecto, se agregan los planos eléctricos actuales del túnel argelino Durán, teniendo en cuenta que se utiliza la misma infraestructura eléctrica y que la subestación es el lugar en el que se van a instalar los bancos de baterías que almacenan la energía producida por los piezoeléctricos; estos planos enseñan la distribución eléctrica a utilizar.

Ilustración 33 – Flujo eléctrico túnel argelino duran



Fuente: *Concesión Coviandes (noviembre, 2022)*

Ilustración 34 – Flujo eléctrico Subestación



Fuente: *Concesión Coviandes (noviembre, 2022)*

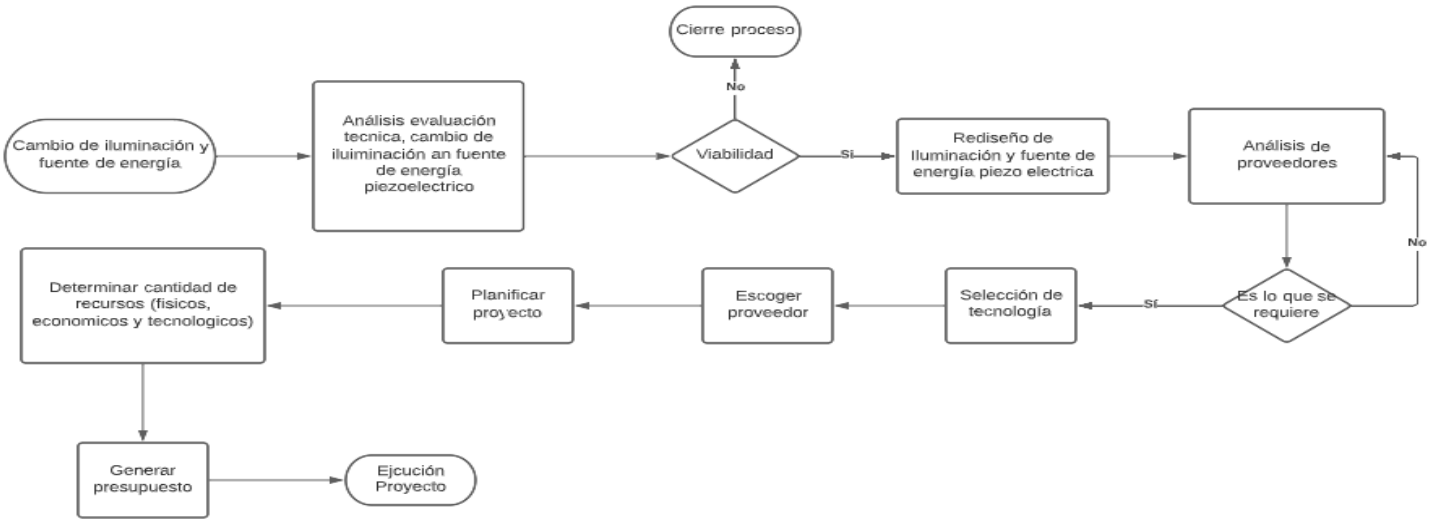
Los demás planos Se realacionan como anexos en la tabla de anexos.

4. 4.4. DIAGRAMAS DE PROCESO

El proceso se compone de una serie de fases de servicios de consultoría y planeación en el cual se ofrece al cliente todo el panorama a ejecutar frente a un cambio en la iluminación a LED con fuente de energía piezoeléctrica.

Tenido en cuenta solo para el túnel argelino duran, que se encuentra en la vía Bogotá – Villavicencio.

Ilustración 35 – Diagrama de proceso



Fuente: Autoría propia

El tamaño del sistema está compuesto por una serie de fases componen el desarrollo del proyecto, frente a lo que busca dar un estudio técnico frente al cambio de iluminación y fuente de alimentación energética (piezoeléctrico).

El servicio que se busca prestar es entregar un estudio para cambio de iluminación LED, con fuente piezoeléctrica principalmente para túneles de las vías públicas del país. para esto converge el análisis y estudio técnico de las condiciones del iluminación del túnel y de la posibilidad de instalar piezoeléctrico como fuente de alimentación y se confirma si es o no posible de ejecutar, posterior se confirma si es necesario un rediseño de la infraestructura locativa o eléctrica para cumplir con el objetivo del proyecto y se realiza un análisis de proveedores para obtener información de posibles compañías que suministren los recursos requeridos durante el proyecto, con base en lo encontrado en los proveedores se realiza una selección de tecnología basado en la necesidad analizada y luego seleccionar el proveedor que más se ajuste a la necesidad, de esta manera el proceso ya entra a su etapa final en la cual se determina la cantidad de recursos físicos, económicos , tecnológicos y humanos.

para finalmente generar el presupuesto y planificar la ejecución del proyecto basados en la información anterior.

Este capítulo comprende una vista profunda del servicio y como se ejecuta conforme a las necesidades que se establecieron en el estudio de mercado, en primera instancia seleccionando el tipo de tecnología que se va a trabajar con el dispositivo piezoeléctrico para adquirir la energía mecánica, también se describe el método y tiempo de instalación de estos dispositivos, así como su tecnología para almacenar la energía y alimentar un sistema de iluminación de túneles.

Túnel argelino Duran (Boquerón)

El túnel boquerón es considerado uno de los más grandes de latino América, razón por la cual El túnel fue construido en la carretera Bogotá - Villavicencio y que cumple con los estándares internacionales es el primero en ser terminado y dado al servicio exitosamente.

El túnel cuenta con una subestación desde la cual se realiza toda la alimentación del sistema de iluminación y se distribuye de la siguiente manera:

- 30% ventiladores
- 70% iluminación

Actualmente el túnel cuenta con un total de 512 lámparas todas ellas de tecnología de sodio, las cuales producen luz amarilla como se plantea a continuación:

Ilustración 36 – Túnel Argelino Duran Boquerón



Fuente: Autoría propia

Lámparas utilizadas en la actualidad: Las lámparas que se instalaron en la edificación del túnel en mención son estas lámparas de sodio las cuales tienen un costo de $570.000 por unidad y las cuales en la actualidad son poco eficientes y generan contaminación.



Ilustración 37 – Lampara Sodio

Ilustración 38 – especificaciones técnicas lampara sodio

Descripción del producto	
Dimming method	Mains: leading / trailing edge
Nombre del producto	SHP-S 70W TWINARC E27 SLV
Tecnología	HID
Potencia (clasificada) (W)	72
Type	SHP-S
Cap/Base	E27
Lamp finish	Frosted/Coated
Fixture rating	Open
General application	Logistics & Industry
ETIM Class	EC000821
FI del número electrónico	4845528
SE del número electrónico	8358106
E-number Norway	3800723
Flujo luminoso (nominal) (lm)	6080
Temperatura de color (K)	2050
IRC (Ra)	20
Variación de color inicial tras el incendio (SDCM)	N/A
Grupo de riesgo fotobiológico	Not applicable
Wattage (W)	72
Tensión (V)	90
Dimmable	No
Average life (Nominal) (h)	55000

Fuente: *Concesión Coviandes (agosto, 2022)*

Como se puede observar en la imagen de la ficha técnica se valida que es un equipo que consume bastante energía y más del 80 por ciento del primer consumo se produce al encender

Lámparas propuestas: Las lámparas propuestas son equipos de referencia Led de 39W, esto debido a que en relación entre la Ani y Coviandes se decidió hace años realizar un cambio de iluminación por esta referencia de lámparas LED.

Avanza el cronograma de trabajos implementados por la Agencia Nacional de Infraestructura ANI y Coviandes para la modernización de la iluminación de los túneles Boquerón y Buenavista (Coviandes Julio 24, 2015).

Ilustración 39 – Lampara LED



Fuente: Concesión Coviandes (agosto, 2022)

En la imagen se evidencia la imagen de la lampara LED propuesta para el proyecto de en su fase cambio de iluminación

Ilustración 40 – Especificaciones técnicas lampara LED

Información de producto

Especificaciones técnicas

Marca	Ganeed
Color	Blanco
Material	Hierro Plástico
Estilo	Moderno
Tipo de sala	Pantry, Garage, Kitchen, Bathroom, Basement, Bedroom, Hallway
Uso en interiores y exteriores	Interiores
Fuente de energía	Con cable eléctrico
Dimensiones del producto	19.6"L x 19.6"W x 2"H pulgadas
Características especiales	No regulable
Tipo de fuente de luz	LED
Tipo de acabado	Pintado
Número de Fuentes de Luz	2835
Voltaje	110 Voltios
Forma	Redondo
Dirección de la luz	Downlight
Peso del artículo	0.8 Kilogramos
Vataje	39 vatios
Fabricante	Ganeed
Número de parte	Ganeed
Peso del producto	1.76 pounds
Dimensiones del producto	19.6 x 19.6 x 2 pulgadas
País de origen	China
Número de modelo del producto	CPZE-911-50-6W
Altura de la unidad ensamblada	2 pulgadas
Longitud de la unidad ensamblada	19.6 pulgadas
Ancho de la unidad ensamblada	19.6 pulgadas
Finish Types	Pintado
Color de la pantalla	Blanco
Estilo de interruptor	Push Button
Tipo de instalación del interruptor	Montaje en techo
¿Se incluyen las baterías?	No
¿Se necesitan baterías?	No
Temperatura del color	6500 Kelvin

Fuente: Concesión Coviandes (agosto, 2022)

Esta herramienta es un equipo que genera una iluminación blanca y cálida, con la cual se mejora mucho la visibilidad y seguridad vial, este equipo tiene un costo por unidad de alrededor de $75 dólares por unidad. ($369.000)

lo que se pretende con el cambio de lámparas de sodio a LED es que se visualice de este modo la iluminación:

Ilustración 41 – Túnel Carlin nevada EEUU con iluminación LED.



Fuente: (interempresas.net, https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/142611-schreder-ilumina-el-primer-tunel-de-autopista-exclusivamente-con-iluminacion-led-de-norteamerica.html, 2016**)**

Como se evidencia entre las imágenes la iluminación cambió considerablemente entre lámparas de sodio (luz amarilla) a luz LED (luz blanca).

4.7 MATERIALES

Los materiales que se requieren para la fase de abastecimiento de energía por medio de piezoeléctrico se describen en la tabla número 18.

Tabla 18 - Eficiencia de materiales para piezoeléctrico

Dispositivo	k	λ_{max}	U_E (mJ)	Rigidez
PZT pile	0,75	0,282	0,03	Alta
Multicapa	0,75	0,282	0,03	Alta
Moonie	0,23	0,012	0,012	Media
Cimbalo	0,25	0,041	0,49	Media
Bridge	0,29	0,057	1,13	Media
Thunder	0,74	0,237	43,38	Baja

Fuente: (Universidad autónoma de Madrid, Energy Harvesting Una técnica para generar energía, Fernández, 2017**)**

Para los piezoeléctricos los materiales más usados son PZT y PVDF, el PZT corresponde a titanato zirconato plomo, se trata de una cerámica. Se debe definir el material adecuado para el soporte de cargas altas debido a que por este túnel transitan muchos vehículos de transporte de carga pesada, por tal razón se valida un piezoeléctrico que permita obtener dicho peso, en la siguiente tabla se encuentra una serie de condiciones y características de los piezoeléctrico que para este proyecto en particular tienen que soportar cargas elevadas y ser resistentes a la fatiga, se deben incrustar en el asfalto, y por eficiencia se debe garantizar la sincronización entre el mantenimiento del piezoeléctrico y cuando se asfalte la vía nuevamente.

Condiciones de carga Un factor importante que influye a la hora de determinar la carga a la que se encuentra sometido el dispositivo es la cantidad de vehículos que circulan por las vías, entre ellos encontramos clasificados a turismos pequeños (Ibarra, 2020), en otro grupo llamada turismo grandes se incluye todo terrenos y grandes berlinas, la característica central para esta clasificación es el peso; mientras que un coche pequeño puede llegar a bajar la tonelada de peso (Seat Mii) , un coche grande puede llegar a superar las 2,5 toneladas .Para la clasificación de los camiones se ha utilizado la diferenciación que realiza la normativa que registra la DGT(Dirección general de tráfico) que rige la masa máxima autorizada; por lo tanto están los camiones de 2 ejes y 3 ejes, para tales efectos en la tabla # se valida las características conforme a los vehículos que transitan la vía Bogotá - Villavicencio y que se estipulan en la reglamentación legal vigente

Tabla 19 – Generación de energía por vehículo para piezoeléctrico

VEHICULO	Masa (Kg)	Peso por neumático (N)	Área de contacto (mm^2)	Presión en suelo (MPa)
Turismo pequeño	1100	2750	18880	0.15
Turismo grande	2500	6250	27087	0.23
Camión 2 ejes	18000	30000	35960	0.83
Camión 3 ejes	25000	25000	35960	0.7

Fuente: Autoría propia

En la tabla anterior se encuentran las características más importantes para tener en cuenta y escoger de la mejor forma un piezoeléctrico .Para realizar un análisis más minucioso se debe estudiar la respuesta mecánica y la electricidad generada bajo diversos estados de carga y para diferentes configuraciones geométricas se consideran dos escenarios, el

primero la carga directamente en el elemento (címbalo) y un segundo escenario con la capa de asfalto; el análisis se realiza mediante el método de elementos finitos.

Se relacionan los siguientes tipos de piezoeléctrico que cumplen con las condiciones anteriormente dadas:

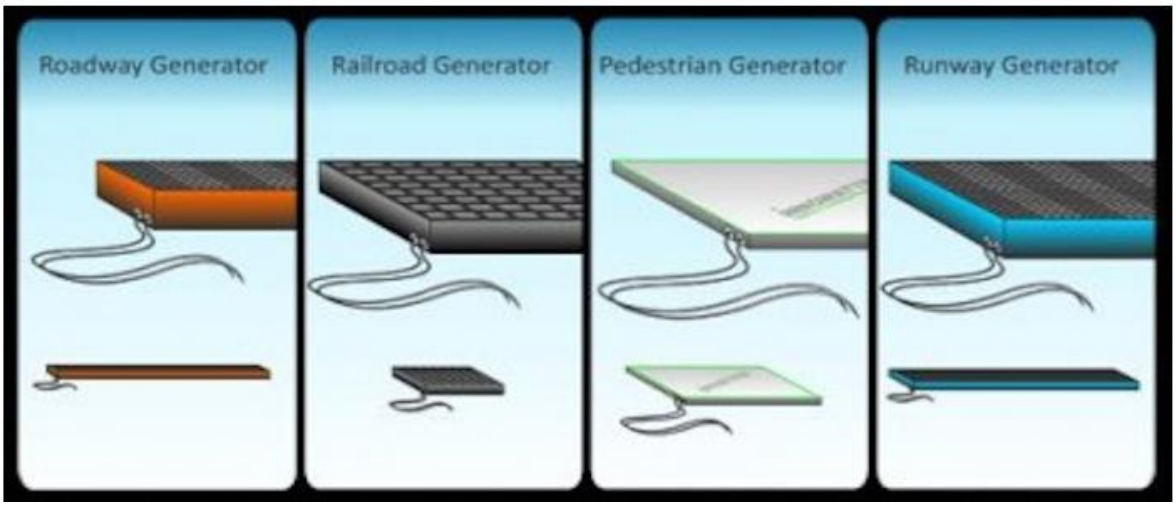
Innowattech Energy Harvesting Systems:

Se especializa en el desarrollo de generadores piezoeléctricos personalizados para fines específicos, como la recolección de energía mecánica impartida a las carreteras por los vehículos que pasan. Innowattech también ha desarrollado un sistema de almacenamiento eficiente para recolectar y almacenar la electricidad producida por estos generadores. La energía acumulada se puede utilizar para alimentar semáforos o farolas.

Instalación

Incrustados a 6 cm bajo la capa de asfalto, entre las capas de una carretera, están montados con tarjetas electrónicas para almacenar energía generada por el tráfico. El sistema suele cubrirse con una capa de asfalto, pero también se puede utilizar hormigón o mezcla de hormigón y asfalto

Ilustración 42 – Tipos de piezoeléctrico.



Fuente: (innowattech.co.il, 2015)

GENZIKO NUMBERS

Esta era la segunda empresa a nivel mundial que produce piezoeléctricos específicamente para tramos de carreteras en el mundo, la compañía contrataba directamente con la NASA y por ende recibe recursos públicos de EE. UU, en el año 2016 se abre en dicho país una investigación en contra de la empresa por malversación de recursos públicos. Genziko solicitó y recibió una subvención de la NSF y un contrato de la NASA en el marco del programa Small Business Innovation Research (SBIR). El programa SBIR fue establecido por el Congreso para dirigir una parte de los fondos federales de investigación a las pequeñas empresas para ayudarlas a desarrollar productos innovadores que puedan comercializarse con éxito. Véase la Ley de Desarrollo de Innovación de Pequeñas Empresas de 1982, (Pub. L. No. 97-219, 96 Stat. 217).

Razón por la cual en el año 2017 y bajo la resolución Nº 15-15590 el tribunal de apelación UNDECIMO de los EE.UU declara culpable a la empresa y ordena su liquidación. Razón por la cual ya no producen insumos piezoeléctricos.

Así como se conoce los beneficios al utilizar piezoeléctricos se debe tener presente sus limitaciones, la principal limitante de esta tecnología es el flujo vehicular constante. Para tratar de facilitar esta desventaja diferentes fabricantes han tratado de diseñar y fabricar elementos más eficientes; a continuación, se presenta la tabla comparativa de dos fabricantes. Para temas del proyecto se adiciona la tabla # en la cual se puede evidenciar la comparación realizada por la comisión europea en california frente a estas 2 organizaciones.

Tabla 20 – Comparación de piezoeléctricos

	Innowattech Numbers (Numerous de Innowattech)	Genziko Numbers (Números de Genziko)	Difference - Genziko vs. Innowattech (Diferencia - Genziko vs. Innowattech)
Vehicles per hour (Vehículos por hora)	600	600	0
Vehicle speed (mph) (Velocidad del vehículo)	45	65	0,5
Claimed power generated, 1 km (kW) (Potencia reclamada generada, 1 km)	150	13600	89,7
Number of harvesters, 1 km	9800	2037	-0,8
Cost pet km (Coste por km)	$ 650.250	$ 27.200.000	40,8

Fuente: Commission, C.E.(2014)

Como se puede evidenciar la tabla compara en base a un flujo de vehículos por hora, la velocidad requerida, la potencia que se genera en determinada distancia para este caso es un 1km, número de equipos instalados por Kilómetro y finalmente hace la relación del costo por kilómetro.

Etapa de Almacenamiento de energía

La rectificación es un proceso fundamental ya que este valor permitirá conocer los valores teóricos de salida en DC, para posteriormente dimensionar el banco de baterías, en el cual se almacenará la energía eléctrica.

$$vdc = \frac{2 * \sqrt{2vin}}{\Pi}$$

Donde Vin= 165 V que es el nivel de tensión que se espera obtener del piezoeléctrico al ser sometido a la fuente de energía mecánica.

$$vdc = \frac{2\sqrt{2}*165}{\Pi} = 148{,}54$$

Voltaje nominal(V)	Voltaje de operación (V)	Voltaje mínimo(V)	Potencia(W)	% Carga del sistema	Corriente(ITD)
148,54	150	130	200000	100	721,776

Icarga= (ITD X Vop)/Vmin = (721,776 X 150) / (130)= 832,81 A

Amperes-Horas requerido

Los ampere-hora (A-Hr) requeridos, se calculan multiplicando la corriente de carga (Icarga)por el tiempo de respaldo (Tr).

Tr= 8 hrs

$$A - Hr \ = \ Icarga \ XTr \ = \ 6662AH$$

Numero de banco de baterías (Nbb)

El número de bancos de baterías necesarios, se calcula dividiendo los Amper-Hora entre la capacidad de los bancos de baterías.

La capacidad del banco de baterías (Cbb) es de 1000 A-Hr.

$$Nbb = \ AHr/Cbb$$

$$Nbb = \frac{6662}{1000} = 6{,}66 \ = \ 7 \ bancos \ de \ batería$$

Capacidad del fusible de batería (Cfb)

La capacidad del fusible de baterías, se calcula dividiendo la corriente de carga (I carga), entre el número de banco de baterías (cbb). Todo el resultado se multiplica por 1,25.

$$\boldsymbol{Cfb \ = \ (lcarga/Nbb * 1{,}25 \ = \ 148{,}72}$$

Número de rectificadores

El número de rectificadores se calcula dividiendo la corriente generada por el sistema piezoeléctrico en el kilómetro mencionado sobre la capacidad de un rectificador; la capacidad del rectificador es 100 A.

$$Nbb = \frac{832{,}1}{100} = 8{,}32 \ = \ 9\, rectificadores$$

Número de inversores

El inversor que necesitamos para nuestro sistema es un inversor trifásico, debido a la naturaleza de la carga (nuestro sistema de iluminación).

Scarga: Potencia del inversor

Fs: Factor de seguridad

FP: Factor de potencia

Pcarga-Ac: Carga consumida en 1 hora

Eff-Inv: Eficiencia del inversor

$$SCarga = FS * (\frac{Pcarga \ - \ AC}{Fp \ * \ effinv})s$$

$$SCarga = 1{,}25 * (\frac{150000}{0{,}8 * 0{,}95})246{,}71\ KW$$

$$Número\ de\ inversores = (\frac{246710}{40000}) = 6{,}16 \ = \ 6$$

A continuación, se agregan los resultados producto de la aplicación de las fórmulas de los equipos necesarios para el desarrollo del proyecto.

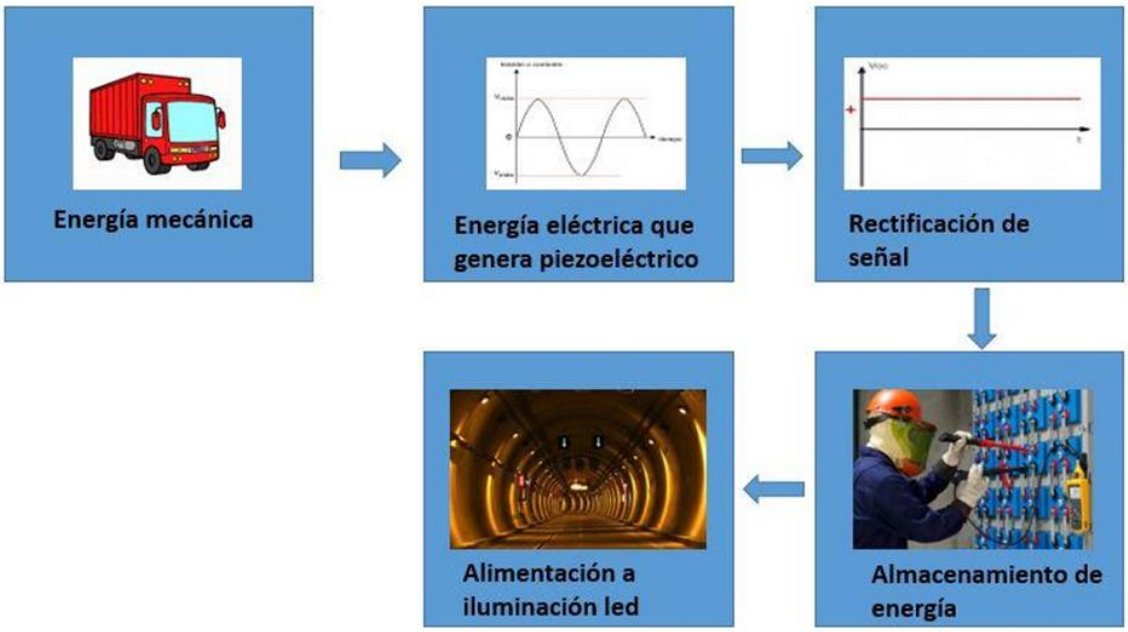
Tabla 21– Resumen de equipo necesario.

Potencia generada	200 KWh
Capacidad de rectificador	9 rectificadores de 100 A
Número de bancos de baterías	7 bancos de baterías
Capacidad de inversor	40 kw
Carga a alimentar	150 Kw

Fuente: Autoría Propia

A continuación, se presenta el diagrama grafico del proceso de almacenamiento de energía por medio de piezoeléctrico y sus respectivas fases.

Ilustración 43 – Almacenamiento de energía piezoeléctrico.



Fuente: Autoría Propia

La grafica muestra todo el proceso de abastecimiento de la tecnología de piezoeléctrico y como funcionaria en el túnel Argelino Duran (Boquerón).

Tecnología complementaria para proyecto

Para la ejecución del proyecto se recomiendan los siguientes componentes éstos por temas económicos, calidad y de mantenimiento son los mejores del mercado a continuación se describen con sus especificaciones y costos:

1.Rectificador

El rectificador requerido para el proyecto es de 100 amperios, en total deben ser 9; cada unidad por valor de $ 355 dólares.

Ilustración 43 – Rectificador



Fuente: https://solectroshop.com/es/blog/que-es-un-puente-rectificador,2019

A continuación, se presenta las especificaciones del rectificador.

Ilustración 44 – Especificaciones del rectificador

Especificaciones:

Los artículos	Rectificador de potencia de CC de 300 amperios rectificador de galvanoplastia de máquina de niquelado de 12 voltios de 100 amperios para laboratorio
Voltaje de entrada de CA	Tres fase 220V 380V 415V 480V ± 10% 50/60Hz
Tensión de salida	DC0-12/24/36/48V...300VAjustable
Corriente de salida	DC0-100/200/300/400/500A/1000A....30000AAjustable
REGLAMENTO DE	0-100%
Factor de potencia	≥ 0,9 (carga completa)
Precisión de corriente de salida, voltaje	≤ 0.1%
La eficiencia	≥ 90% (carga completa)
Clase de protección	IP54 para refrigeración por agua, IP30 para refrigeración por aire forzado
Método de enfriamiento	Refrigeración por agua o refrigeración por aire forzado
Modo de Control	CC CV pulso PWM control
Modo de operación	Pantalla táctil Local, panel frontal, caja de control remoto o comunicación
Protocolo de comunicación	RS485... Profibus DP MODBUS
Método de trabajo	Funcionamiento continuo de carga completa de largo tiempo
Protección	Sobrecalentamiento, entrada sobre/Bajo Voltaje, sobretensión de salida, sobrecorriente de salida, sobre la temperatura del agua, bajo presión del agua.

Fuente: https://solectroshop.com/es/blog/que-es-un-puente-rectificador,2019

2.Bancos de energía:

Los bancos de batería son los recipientes que almacenan la energía, son 7 bancos que requiere la ejecución del proyecto. Cada una tiene un valor de $450 dólares

Ilustración 45 – Baterías



Fuente: Emeisa,2015

Las Baterías modelo VFT de la gama de PowerSafe® de Plomo-Ácido selladas, con diseño de Terminal Frontal regulada por válvula de recombinación de gases son Ideales para aquellas aplicaciones donde se requiere mayor nivel de seguridad y fiabilidad. Estas baterías brindan gran duración y rendimiento, otorgando grandes beneficios por su acomodo flexible ya sea en posición horizontal o vertical en racks de 19” o 23”, lo que se traduce en ahorro de costos en mantenimiento y personal. (emeisa,2015).

Ilustración 46 – Especificaciones Técnicas de batería



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Batería de 12 V.C.D.
- Diseño compacto de monoblock con terminación frontal.
- Instalación e inspección más rápida y sencilla.
- Larga vida útil mayor a 12 años en condiciones normales de operación.
- Rango de capacidades de 31 A.H. hasta 190 A.H.
- Cumple con las Normas Internacionales IEC 60896-21 e IEC 60896-22.
- Sin necesidad de cuarto separado.

			Capacidad Nominal (A.H.)		Dimensiones Nominales										
Tipo	Números de Celdas	Tensión (V) Nominal	10 horas a 1,80VPC a 20° C	8 horas a 1,75VPC a 77° C	Longitud mm	Longitud pulg.	Ancho mm	Ancho pulg.	Alto mm	Alto pulg.	Peso Estándard kg	Peso Estándard libras	Corriente de Circuito (A)	Resistencia Interna (m)	Terminales
12V30F	6	12	31	31	280	11.0	97	3.8	159	6.3	10.8	23.8	1327	9.8	M8 H
12V38F	6	12	38	38	280	11.0	97	3.8	184	7.2	12.5	27.6	1500	8.53	M8 H
12V62F	6	12	62	62	280	11.0	97	3.8	264	10.4	19.7	43.5	2100	5.87	M8 H
12V92F*	6	12	92	92	395	15.6	105	4.1	264	10.4	28.0	61.7	2500	5.05	M8 H
12V105F*	6	12	105	107	561	22.1	125	4.9	235	9.3	46.0	101.4	3500	3.60	M6 M
12V125F*	6	12	125	126	561	22.1	105	4.1	316	12.4	56.0	123.5	3818	3.30	M6 M
12V155FS*	6	12	150	155	561	22.1	125	4.9	283	11.1	57.0	125.6	3435	3.20	M6 M
12V165F*	6	12	165	165	561	22.1	125	4.9	316	12.4	67.0	147.7	4500	2.80	M6 M
12V170FS*	6	12	170	170	561	22.1	125	4.9	283	11.1	50.5	111.3	2950	4.30	M6 M
12V190F*	6	12	190	190	561	22.1	125	4.9	316	12.4	57.3	126.3	3625	3.50	M6 M

*Batería incluye asas.

Esta información está sujeta a cambios sin previo aviso

Fuente: Emeisa,2015

3.Inversor

Permite transformar una tensión continua de entrada a una tensión definida de salida**,** tiene un valor de $2.700.000.

Ilustración 46 – Inversor



Fuente: Oasaka electronics, 2020

Ilustración 47 – Especificaciones Técnicas de inversor

Ficha técnica

Alto cm	64
Área de superficie	2 m2
Ancho cm	25
Peso Kg	17
Observaciones	La foto de este producto ha sido ambientada, por lo cual no incluye ningún adorno, ni accesorios, ni piezas adicionales ni ningún otro elemento que lo acompañan.
Material	Aluminio
Referencia Proveedor	82860
Potencia	4000W
Procedencia	China
Largo cm	40
Características	Inversor Hibrido 4000W/48V VHM 220V Salida 220V 60Hz PV18-4048 VHM entrada DC 48V, controlador MPPT 80A incluido, Marca MUST SOLAR
Amperaje	48
Alimentación	Eléctrica
Voltaje	48
childSkus	500547
Tipos de instalación	Realizar debida conexión como indica el manual de instalación
Garantía Meses	24
Color	Azul

Fuente: Oasaka electronics, 2020

ESTUDIO AMBIENTAL

El estudio ambiental se realizó teniendo en cuenta los diferentes factores y ambientales que se ven afectados en los procesos de cambio de iluminación e instalación de piezoeléctricos, para dicho estudio la metodología de Evaluación de impactos ambientales en los cuales se utiliza la siguiente información:

- N = Naturaleza, este representa la naturaleza del impacto y se mide si es + o –
- I = Impacto, este representa el grado de destrucción que genera en el medio, se mide de la siguiente manera;

- Bajo: 1
- Media: 2
- Alta: 4
- Muy Alta: 8

- EX = Extensión, representa el área de influencia en que se desarrolla el impacto, se mide de la siguiente manera:

- Puntual: 1
- Parcial: 2
- Extenso:4
- Total: 8
- Critico (+4)

- MO = Momento, Representa el plazo o tiempo en que se manifiesta el impacto, se mide de la siguiente manera:

- Largo plazo: 1
  - Medio Plazo: 2
  - Inmediato: 4
  - Critico (+4)

- PE = Persistencia, representa el tiempo de permanencia que va a tener el impacto ambiental, se mide de la siguiente manera:

- Fugaz: 1

- Temporal: 2

- Permanente: 4

●RV = Reversibilidad, representa la oportunidad de retroceder en determinado periodo el impacto ambiental, se mide de la siguiente manera;

- Corto plazo: 1

- Medio plazo: 2

- Irreversible: 4

●SI = Sinergia, En esta representa la regularidad con que se manifiesta el impacto ambiental, se mide de la siguiente manera;

- Sin sinergismo (Simple): 1

- Sinergismo: 2

- Muy sinérgico: 4

●AC = Acumulación, Representa el incremento progresivo que puede tener el impacto ambiental, se mide de la siguiente manera;

- Simple: 1

- Acumulativo: 4

●EF = Efecto, Representa la relación que existe entre la causa del impacto ambiental y el efecto que genera el mimo, se mide de la siguiente manera;

- Indirecto: 1

- Directo: 4

- PE = Periodicidad, Representa la regularidad con la que se presenta el impacto ambiental, se mide de la siguiente manera;

- Irregularidad o periódico y discontinuo: 1
    - Periódico: 2
    - Continuo: 4

- MC = Recuperabilidad, Representa la recuperación posible por medios humanos del medio que afecta el impacto ambiental, se mide de la siguiente manera;
    - Recuperable de manera inmediata: 1
    - Recuperable a medio plazo: 2
    - Mitigable: 4
    - Irrecuperable: 8

- I = Importancia, representa la importancia que al final genera el impacto ambiental en el medio, se mide por medio de la siguiente formula;

$$\pm(3I + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

3.2.1. Matriz proceso de cambio de iluminación e instalación de piezoeléctrico

Dentro de la matriz se evidenciaron varios resultados tanto positivos como negativos para ello se utilizaron las siguientes convenciones que permiten identificar los resultados:

- Rojo: Alto impacto tanto negativo como positivo

- Azul: Impacto medio

- Verde: Impacto bajo

Se realiza la matriz bajo la metodología de impacto ambiental esta se puede evidenciar en el **anexo ###**

Conclusiones: De estudio ambiental se puede determinar que uno de los factores ambientales que se ven más afectados actualmente, es el físico y en el su componente ambiental el agua, esto debido al consumo de agua que se genera para la generación de energía; este obtuvo una puntuación de -44 siendo uno de los impactos negativos más altos, Otro de ellos es el factor de suelo con su componente geosferico en el cual la generación de respel, esto producto de los desechos eléctricos que se pueden producir debido a los resudios eléctricos que se puedan generar durante el cambio de iluminación, con un impacto de -4, asimismo el factor paisajístico, en el cual se ve el componente perceptual debido a las obras en las vías que se puedan ejecutar con un impacto de -42. A continuación se presentan los impactos positivos que se encuentran en el estudio; El factor socioeconómico es uno de los más beneficiados en su aspecto ambiental de generación de empleo, esto debido a que los proyectos que se puedan generar en diferentes regiones del país permitirá que se pueda brindar trabajo a las personas de todas la regiones, generando mejor calidad de vida en cada parte del país, obtuvo un impacto del +41, asimismo en este mismo factor encontramos el aspecto actores sociales, en el cual al realizar mejoras del servicio para toda la población de Colombia que se transporte por medio de túneles, generara grandes expectativas de la mejora que se ejecuten, este obtuvo un impacto de +40, finalmente encontramos el componente ambiental sociocultural en el cual se evalúa el aspecto ambiental de consumo de servicios públicos, este es el aspecto que más llama la atención y que como se evidencia en el estudio de mercado es de gran importancia para las partes interesadas, en su impacto como conservación de recursos, el poder generar un camio con una energía renovable limpia y una iluminación más amigable con el medio ambiente y de menor consumo, obtuvo un impacto de +60.

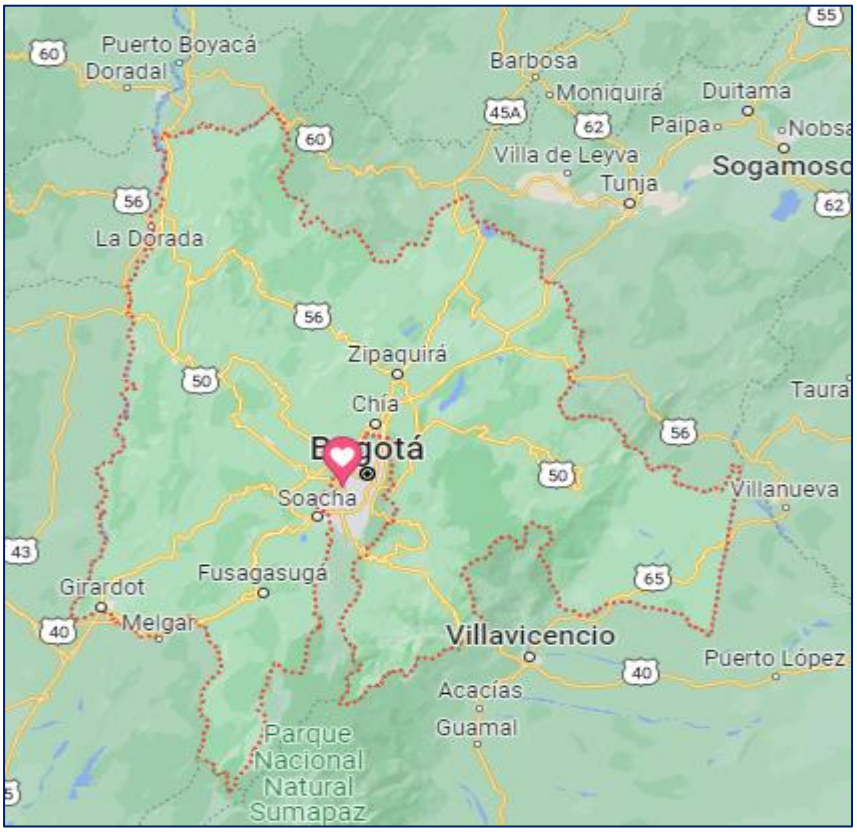
Finalmente cabe recalcar que la tecnología de piezoeléctrico al no tener ningún componente biológico este puede reducir o al menos contribuir a la reducción del CO2 y otros gases que influyen de manera negativa en el impacto ambiental, adicional a ello al no ser dependiente de factores ambientales esta puede ser una anergia renovable limpia totalmente

autosuficiente la cual sería más eficiente en comparación con la eólica y la energía con paneles solares.

4.8 MACROLOCALIZACIÓN

El proyecto se desarrolla en el país de Colombia, específicamente en el municipio de Cundinamarca, vía Bogotá - Villavicencio y para la concesión Coviandes quienes tienen a cargo la remodelación y mantenimiento de esa malla vial.

Ilustración 48 – Macrolocalización túnel argelino Duran

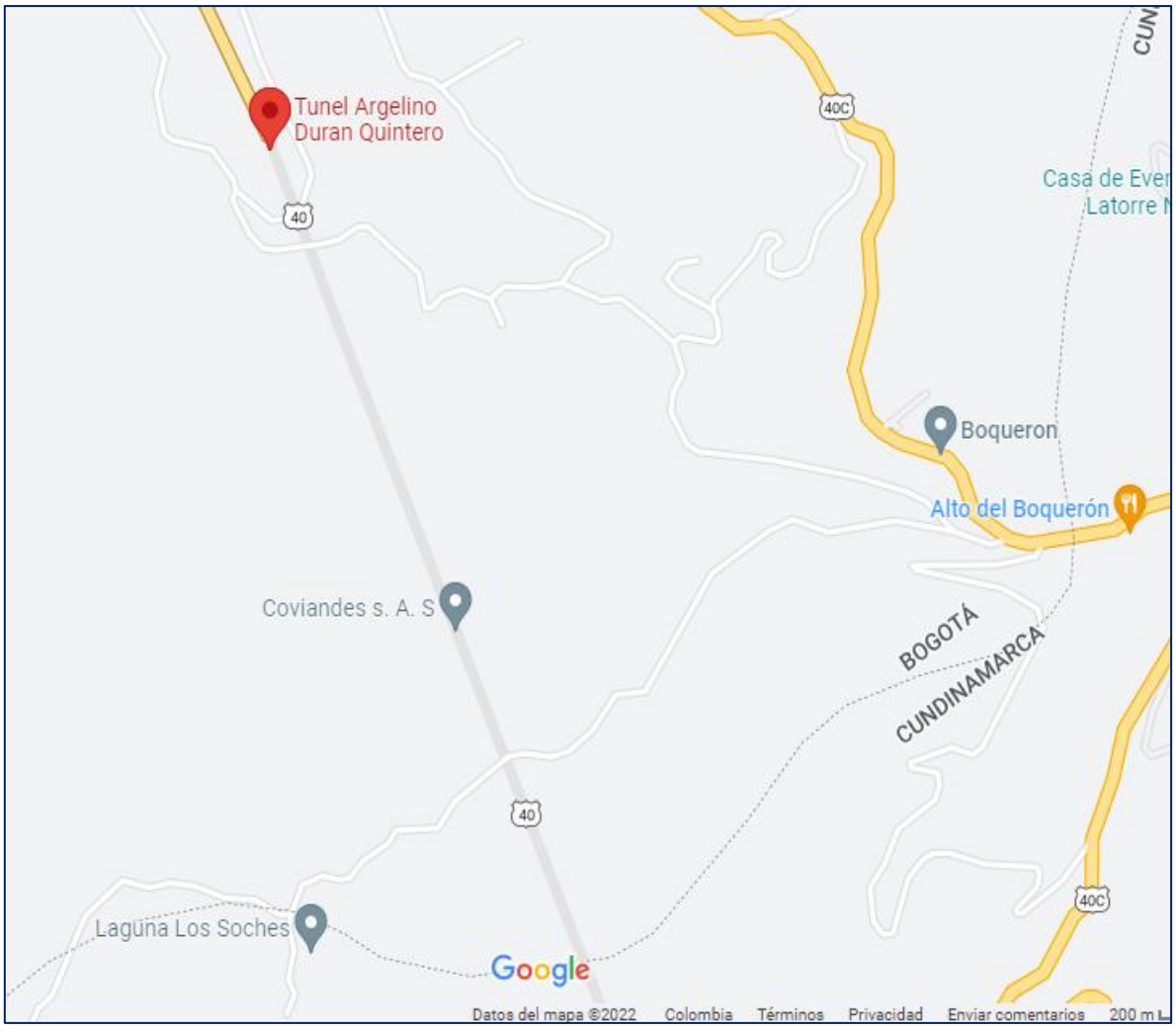


Fuente: Google maps,Cundinamarca - Google Maps,2022

4.9 MICROLOCALIZACIÓN

Se agrega el punto que se pretende intervenir en el proyecto, es el túnel argelino el cual compone o se conoce como boquerón, este se ubica en la vía Bogotá - Villavicencio en el municipio de Cundinamarca.

Ilustración 48 – Macrolocalización túnel argelino Duran



Fuente: Google maps, Tunel Argelino Duran Quintero - Google Maps,2022

4.10 RESULTADOS

1. Se espera obtener una mayor eficiencia energética cambiando la iluminación de sodio A iluminación Led.
2. Se espera obtener un beneficio económico al disminuir el consumo de energía, esto gracias a la iluminación LED y la fuente de energía piezoeléctrica.
3. Se espera obtener resultados de disminución en los impactos ambientales con la implementación del nuevo sistema.

5. ESTUDIO ADMINISTRATIVO

Dentro del estudio administrativo se presentará la planeación estratégica de la organización que desarrollará el proyecto, que incluye la misión, visión, estructura organizativa incluyendo los perfiles, habilidades, competencias y áreas de responsabilidad.

5.1 MISIÓN

Ser pioneros con los estudios de diseños de sistemas de iluminación eficiente y sostenible por medio de lámparas LED y sistemas piezoeléctricos, que mitigue los impactos de la huella de carbono e impacto ambiental por medio de sistemas innovadores de ahorro de energía, permitiendo el crecimiento y desarrollo del país y sus regiones, brindando soluciones de alta calidad y que abran las puertas del desarrollo energético ambiental.

5.2 VISIÓN

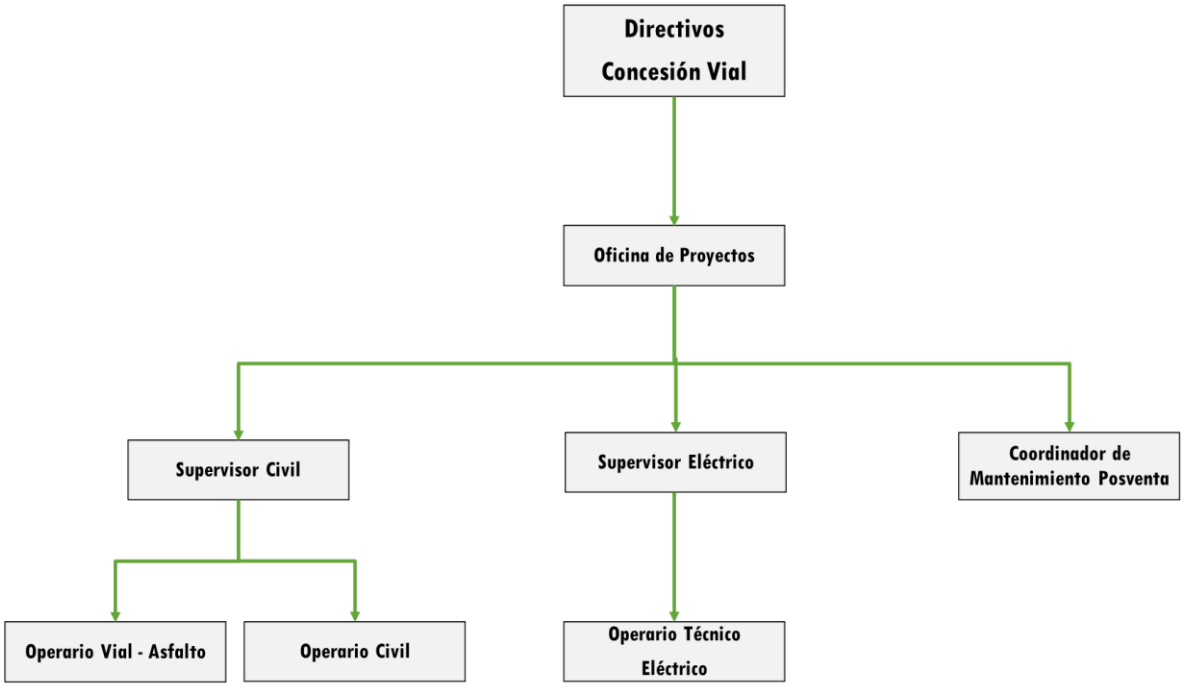
Ser la empresa con mayor proyección de crecimiento del mercado energético autosostenible del país en los próximos 5 años, para el año 10 se espera la internacionalización de los productos de la empresa en América y su reconocimiento como

una de las más grandes y de mayores estándares de calidad, tanto por sus usuarios como por sus competidores.

5.3 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

A continuación, se presenta el organigrama propuesto para la implementación del proyecto a través de los procesos contractuales públicos disponibles de los sistemas de iluminación, mantenimiento, insumos y repuestos de la concesión vial.

Ilustración 49 - Estructura organizativa propuesta para implementación del proyecto



Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se presenta el organigrama propuesto para el equipo de proyectos, frente a el cambio de iluminación LED y abastecimiento de energía por medio de sistema piezoeléctrico.

5.4 PERFILES DE PUESTO Y PERFIL DE LA ESTRUCTURA ORGANIZATIVA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Directivos: Son las personas a la cabeza de la organización, donde podemos encontrar dueños, socios, consultores externos, y alta gerencia.

Gerente del proyecto: Persona con formación de Ingeniero eléctrico o civil, experiencia en dirección de proyectos (2) dos años, experiencia en gerencia de proyectos 2 años.

Ingeniero residente: Persona con formación de ingeniero eléctrico, experiencia como ingeniero residente de (4) cuatro años, conocimientos específicos en redes de media tensión, baja tensión, energías alternativas, conocimientos en normatividad NTC 2050, Retie, Retilap.

Supervisor civil: Tecnólogo en construcciones civiles, experiencia en pavimentación 4 años.

Supervisor eléctrico: Tecnólogo en electricidad, experiencia mínima de (3) tres años en redes de baja tensión, experiencia con energías alternativas (6) meses, curso de alturas vigente, tarjeta conaltel vigente.

Operador de asfaltadora: Persona mayor de 25 años, bachiller, con experiencia en manejo de maquinaria de (4) cuatro años.

Operador de grúa: Persona mayor de 25 años, bachiller, curso de alturas vigente, curso de manejo defensivo (no importa si esta inactivo), experiencia en manejo de grúa de 3 años.

Técnico eléctrico: formación como técnico eléctrico o electricista, tarjeta conte vigente, lectura de planos eléctricos, curso de alturas vigente.

Oficial civil: bachiller académico, mayor de (27) veinti siete años, experiencia en pavimentación de carretera y actividades relacionadas mayor a (3) tres años.

Coordinador de mantenimiento: Ingeniero eléctrico o electromecánico, tarjeta profesional activa, experiencia mínima como supervisor de mantenimiento, líder eléctrico o ingeniero

residente de 3 años, conocimiento especifico en sistemas de iluminación, energías alternativas, redes de media y baja tensión, normatividad vigente de NTC 2050, Retilap, Retie.

Técnico de mantenimiento: Técnico eléctrico o electromecánico, experiencia en mantenimiento de (4) cuatro años, curso de alturas vigente, tarjeta conte vigente.

Ayudante electromecánico: Técnico eléctrico o electromecánico, tarjeta conte vigente, sin experiencia.

5.5. INFORMACIÓN

A continuación, se presenta la información frente a los componentes que abarcan la contratación del personal entre ello se destacan los siguientes ítems:

1. **Tipo de contrato:** Para todos los colaboradores se empleará un tipo de contrato a término definido en el cual este terminará en un periodo de tiempo de 1 año.

2. **Condiciones del contrato:** El contrato cuenta con una serie de cláusulas que protegen tanto al empleador como al empleado, (Horario, Sueldo, Obligaciones), Etc.

3. **Beneficios organizacionales:** En este se contemplan todos aquellos beneficios a los que tiene acceso los empleados por pertenecer a la organización entre ellos se encuentran (auxilios de estudio, medicina prepagada, entre otros.

5.6 IMPACTO LABORAL

Dentro del impacto se encuentra la posibilidad de generar empleos a baja escala en este primer proyecto sin embargo si se evaluara y fuese exitoso su impacto en el desarrollo económico y laboral del país tendría un gran aporte ya que se generarían empleos tanto de manera operativa, administrativa y gerencial

6. ESTUDIO ECONÓMICO - FINANCIERO

6.1 SUPUESTOS

En los supuestos del proyecto se abordan las las tres opciones que se plantean con antelación en las cuales se realiza un análisis del comportamiento económico del sistema en los siguientes casos:

1. El sistema como se tiene actualmente.
2. El sistema con Cambio a iluminación LED
3. El sistema con cambio a iluminación LED y fuente de alimentación piezoeléctrico.

Se debe tener en cuenta que el año 2022 es un año atípico, debido a que mundialmente se vive una etapa de recesión económica y un alza en el costo de dólar, valor que incrementa el costo del proceso para la opción número 3 ya que el costo del piezoeléctrico aumentaría al ser de producción americana.

En base a eso para encontrar costos de insumos y mano de obra requerida para el desarrollo del proyecto, se realiza en base a la página del gobierno “Colombia compra eficiente”, mediante la cual se puede hacer uso de algunos costos y tarifas del mercado actual.

6.2 COSTOS:

Para entender el consumo de energía que se produce en los túneles de Colombia se va a tomar como ejemplo el túnel Túnel Argelino Durán Quintero (Boquerón) de **Cundinamarca** el cual cuenta con una longitud total de 4400 metros, en este y en cumplimiento con la normatividad legal vigente del Reglamento de técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP), se cuenta con un nivel de tensión 2 y un tipo de servicio industrial.

otros costos del estudio

1. Sin realizar ningún ajuste en el sistema de iluminación del túnel
2. Con cambio de de iluminación halógena a iluminación LED
3. Con cambio de iluminación LED y fuente de energía piezoeléctrica.

En el siguiente costeo se visualiza la información referente al mantenimiento y compra de los elementos requeridos en las tres hipótesis con base a lo anterior se realiza la comparación de valores para buscar la más beneficiosa para la ejecución del proyecto.

Se van aplicar los siguientes indicadores:

- El valor presente neto del proyecto (VPN)
- TIR (tasa interna de retorno.

Ilustración 50 – Costos de adquisición para cada hipótesis

COSTOS DE COMPRA PRECIO SISTEMA DE ILUMINACIÓN ACTUAL	Vida Util (Años)	2022 Total de unidades en el túnel	2022 VALOR	TOTALES	COSTOS DE COMPRA PRECIO SISTEMA DE ILUMINACIÓN CAMBIO A LED	Vida Util (Años)	2022 Total de unidades en el túnel	2022 VALOR	TOTALES	COSTOS DE COMPRA PRECIO SISTEMA DE ILUMINACIÓN CAMBIO A LED Y FUENTE PIEZOELECTRICO	Vida Util (Años)	2022 Total de unidades en el túnel	2022 VALOR	TOTALES
Bombillos 400 w sodio	8	353	$ 560.000	$ 197.680.000	Bombillos 400 w LED	20	353	$ 360.000	$ 127.080.000	Bombillos 400 w LED	20	353	$ 360.000	$ 127.080.000
Bombillos 250 w sodio	8	83	$ 430.000	$ 35.690.000	Bombillos 250 w LED	20	83	$ 280.000	$ 23.240.000	Bombillos 250 w LED	20	83	$ 280.000	$ 23.240.000
Bombillos 150 w sodio	8	27	$ 380.000	$ 10.260.000	Bombillos 150 w LED	20	27	$ 168.000	$ 4.536.000	Bombillos 150 w LED	20	27	$ 168.000	$ 4.536.000
Bombillos 50 w sodio	8	1104	$ 339.000	$ 374.256.000	Bombillos 50 w LED	20	1104	$ 85.000	$ 93.840.000	Bombillos 50 w LED	20	1104	$ 85.000	$ 93.840.000
Balasto 400 w	5	29	$ 120.000	$ 3.480.000	Balasto 400 w	5	29	$ 120.000	$ 3.480.000	Balasto 400 w	5	29	$ 120.000	$ 3.480.000
Balasto 250 w	5	6	$ 100.000	$ 600.000	Balasto 250 w	5	6	$ 100.000	$ 600.000	Balasto 250 w	5	6	$ 100.000	$ 600.000
Balasto 150 w	5	3	$ 90.000	$ 270.000	Balasto 150 w	5	3	$ 90.000	$ 270.000	Balasto 150 w	5	3	$ 90.000	$ 270.000
Balasto 50 w	5	47	$ 80.000	$ 3.760.000	Balasto 50 w	5	47	$ 80.000	$ 3.760.000	Balasto 50 w	5	47	$ 80.000	$ 3.760.000
Arranque 400-150W	3	39	$ 200.000	$ 7.800.000	Arranque 400-150W	3	39	$ 200.000	$ 7.800.000	Arranque 400-150W	3	39	$ 200.000	$ 7.800.000
Arranque 50W	3	92	$ 28.900	$ 2.658.800	Arranque 50W	3	92	$ 28.900	$ 2.658.800	Arranque 50W	3	92	$ 28.900	$ 2.658.800
Condensadores	7	88	$ 50.000	$ 4.400.000	Condensadores	7	88	$ 50.000	$ 4.400.000	Condensadores	7	88	$ 50.000	$ 4.400.000
Carcasa	2	4	$ 100.000	$ 400.000	Carcasa	2	4	$ 100.000	$ 400.000	Carcasa	2	4	$ 100.000	$ 400.000
Casquillo	2	2	$ 30.000	$ 60.000	Casquillo	2	2	$ 30.000	$ 60.000	Casquillo	2	2	$ 30.000	$ 60.000
Cable encauchetado 4 x 12	1	500	$ 8.000	$ 4.000.000	Cable encauchetado 4 x 12	1	500	$ 8.000	$ 4.000.000	Cable encauchetado 4 x 12	1	500	$ 8.000	$ 4.000.000
Cable encauchetado 4 x 10	1	500	$ 10.000	$ 5.000.000	Cable encauchetado 4 x 10	1	500	$ 10.000	$ 5.000.000	Cable encauchetado 4 x 10	1	500	$ 10.000	$ 5.000.000
Baterias	4	2	$ 1.500.000	$ 3.000.000	Baterias	4	2	$ 1.500.000	$ 3.000.000	Baterias	4	2	$ 1.500.000	$ 3.000.000
FUENTE DE ENERGÍA					**FUENTE DE ENERGÍA**					**FUENTE DE ENERGÍA**				
Kit de filtros	1	2	$ 1.000.000	$ 1.000.000	Kit de filtros	1	2	$ 1.000.000	$ 1.000.000	Rectificador	6	9	$ 360.000	$ 3.240.000
Aceite	0,5	2	$ 1.000.000	$ 500.000	Aceite	0,5	2	$ 1.000.000	$ 500.000	Bancos de energía	5	7	$ 450.000	$ 3.150.000
Combustible	0,1	2	$ 45.000.000	$ 4.500.000	Combustible	0,1	2	$ 45.000.000	$ 4.500.000	Inversor	5	6	$ 320.000	$ 1.920.000
Refrigerante y otros	0,5	2	$ 500.000	$ 250.000	Refrigerante y otros	0,5	2	$ 500.000	$ 250.000	Piezoelectrico	30	4400	$ 1.200.000	$ 5.280.000.000
Rep sistema inyección	1	2	$ 2.500.000	$ 2.500.000	Rep sistema inyección	1	2	$ 2.500.000	$ 2.500.000					
Baterias	6	2	$ 1.500.000	$ 9.000.000	Baterias	6	2	$ 1.500.000	$ 9.000.000					
Turboalimentador	3	2	$ 1.500.000	$ 4.500.000	Turboalimentador	3	2	$ 1.500.000	$ 4.500.000					
Cargador de baterias	3	1	$ 1.000.000	$ 3.000.000	Cargador de baterías	3	1	$ 1.000.000	$ 3.000.000					
Generador	6	1	$ 2.000.000	$ 12.000.000	Generador	6	1	$ 2.000.000	$ 12.000.000					
Correas, rodamientos, empaques	1	1	$ 3.000.000	$ 3.000.000	Correas, rodamientos, empaques	1	1	$ 3.000.000	$ 3.000.000					
Power command	1	2	$ 7.000.000	$ 7.000.000	Power command	1	2	$ 7.000.000	$ 7.000.000					
Instrumentación	3	1	$ 10.000.000	$ 30.000.000	Instrumentación	3	1	$ 10.000.000	$ 30.000.000					
Tarjetas controladoras	5	6	$ 12.000.000	$ 60.000.000	Tarjetas controladoras	5	6	$ 12.000.000	$ 60.000.000					
Reparación de motor	5	1	$ 80.000.000	$ 400.000.000	Reparación de motor	5	1	$ 80.000.000	$ 400.000.000					
Alquiler planta similar	1	1	$ 20.000.000	$ 20.000.000	Alquiler planta similar	1	1	$ 20.000.000	$ 20.000.000					
Instalación planta similar	6	1	$ 5.000.000	$ 30.000.000	Instalación planta similar	6	1	$ 5.000.000	$ 30.000.000					
Transporte de planta	1	1	$ 2.000.000	$ 2.000.000	Transporte de planta	1	1	$ 2.000.000	$ 2.000.000					
TOTAL ILUMINACIÓN				**$ 1.242.564.800**	**TOTAL ILUMINACIÓN**				**$ 873.374.800**	**TOTAL ILUMINACIÓN**				**$ 5.572.434.800**

Fuente: Elaboración propia

Dentro de los costos por mantenimiento se relacionan en el anexo número # , todos los componentes del sistema que se deben atender en el periodo de tiempo requerido para cada uno de las 3 hipótesis.

6.4 **Flujo de caja**

El flujo de caja se realiza con base a las necesidades del proyecto para el caso, todo el proceso de desarrollo del estudio técnico y financiero del sistema de iluminación LED con fuente piezoeléctrica.

pendiente: Agregar flujo de caja del Excel que le envíe

La imagen describe el cambio en los costos de funcionamiento e implementación para las tres hipótesis:

6.5 **Escenarios**

1. Funcionamiento actual sin cambiar nada: en este se evidencia que el costo general del valor funcional con la iluminación actual es de $ 1.242.564.800 millones entre los cuales, se adiciona un costo de consumo actual de energía para este túnel en promedio se realiza un "*consumo mensual de 345.000 KWh, con un costo contratado por KWh de $255,10*" (Fuente: Coviandes,2021); así se puede decir que para este túnel de 4400 mts, el costo total de consumo de energía es alrededor de $ 88.009.500, sin embargo, cabe recalcar que este costo de iluminación se divide de la siguiente manera; 1/4 de este valor se adjudica a consumos de: Ventilación y salas de emergencia. El total del consumo de energía sería del:

   $88.009.500 - 22.002.375 = $66.007.125 mensuales con lo cúal se puede confirmar que para el consumo para un año completo es de :

   $66.007.125 * 12 = $792.085.500

   De esta manera el costo total para la primera hipótesis es de:

   $792.085.500+$ 1.242.564.800 = $2.034.573.350.

2. Cambio de lámparas Halógenas por LED:

Se tiene en cuenta el mismo consumo mensual de 345.000 KWh, con un costo contratado por KWh de $255,10" (Fuente: Coviandes,2021);

Así se puede realizar un análisis para el mismo túnel con una iluminación Led, en teoría se puede decir que en iluminación esta generara la misma iluminación con 1/3 menos de consumo mensual debido a las características anteriormente mencionadas, así se podría decir que con las LED el consumo mensual promedio puede llegar hacer del 230.000 KWh, con un costo contratado por KWh de $255,10, el valor general del consumo es $58.673.000 y de la misma manera este no sería un consumo solo del túnel también llevaría el costo de la ventilación y salidas de emergencia por tal razón se debe disminuir ¼ al valor ya conocido:

$58.673.000 - $14.668.250 = $44.004.750

Para un total anual de consumo de:

$44.004.750*12 = $528.057.000

Así el valor total para consumo y equipos para la ejecución es de:

$528.057.000 + $873.374.800 = $1.401.431.800

3. Cambio de iluminación a LED con fuente de energía piezoeléctrico:

Se tiene en cuenta el mismo consumo mensual de *345.000 KWh, con un costo contratado por KWh de $255,10*" (Fuente: Coviandes,2021);

Se evidencia el consumo con lampara LED el consumo mensual promedio puede llegar hacer del 230.000 KWh, con un costo contratado por KWh de $255,10, el valor general del consumo es $58.673.000 y de la misma manera este no sería un consumo solo del túnel también llevaría el costo de la ventilación y salidas de emergencia por tal razón se debe disminuir ¼ al valor ya conocido:

$58.673.000 - $14.668.250 = $44.004.750

Y al tener una fuente de energía sostenible no se genera costo de consumo así el total de consumo con la compra de equipo y piezoeléctrico:

$44.004.750 + $5.572.434.800 = $ 5.576.439.550

Costos de Mantenimiento

Dentro de los costos de mantenimiento se realiza la comparación para las tres hipótesis dicha comparación se realiza a partir del año 2018 al presente año.

el cálculo general se puede evidenciar en el anexo # al detalle, sin embargo se adiciona la tabla comparativa a continuación.

Ilustración 51 – Costos de mantenimiento

Año	Tipo	Costo de mantenimiento anual
2018	Sistema de iluminación Actual	$ 311.187.000
2018	Sistema de iluminación Con LED	$ 302.304.000
2018	Sistema de iluminación LED con fuente Piezo	$ 135.380.000
2019	Sistema de iluminación Actual	$ 186.897.000
2019	Sistema de iluminación Con LED	$ 120.090.000
2019	Sistema de iluminación LED con fuente Piezo	$ 23.090.000
2020	Sistema de iluminación Actual	$ 219.597.000
2020	Sistema de iluminación Con LED	$ 152.790.000
2020	Sistema de iluminación LED con fuente Piezo	$ 43.790.000
2021	Sistema de iluminación Actual	$ 214.297.000
2021	Sistema de iluminación Con LED	$ 205.414.000
2021	Sistema de iluminación LED con fuente Piezo	$ 38.490.000
2022	Sistema de iluminación Actual	$ 211.397.000
2022	Sistema de iluminación Con LED	$ 144.590.000
2022	Sistema de iluminación LED con fuente Piezo	$ 35.590.000

Fuente: Elaboración Propia

Se relacionan los costos de mantenimiento de los diferentes sistemas en los que se evidencia que el de menor costo es el sistema de iluminación LED con fuente piezoeléctrica, esto debido a que la vida útil de los piezoeléctricos es de 30 años según la ficha técnica del proveedor Innowattech y de las luces LED de 17 años (Codensa, 2019,

https://likinormas.micodensa.com/Especificacion/materiales_ap/et801_luminarias_bombill_70_400_w). lo cual permite que este no tenga un gran costo.

6.6 **Recursos Humanos**

Con base al estudio administrativo se realiza el costeo para los recursos necesarios para la ejecución del proyecto:

1. Supervisor Civil
2. Supervisor Eléctrico
3. Coordinador de mantenimiento (Posventa)
4. Operario vial (asfalto)
5. Operario Civil
6. Operario técnico

Para conocer el valor del servicio de cada uno se realiza la búsqueda en la página Colombia compra eficiente, portal que sirve como referencia para conocer valores reales del mercado nacional en el año 2022, la tabla # muestra los valores de los recursos actualmente.

Ilustración 51 – Costos de Recurso Humano.

NOMBRE	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
1. Supervisor Civil	1 DÍA	$ 100.000	1	$ 100.000
2. Supervisor Eléctrico	1 DÍA	$ 88.000	1	$ 88.000
3. Coordinador de mantenimiento (Posventa)	1 DÍA	$ 140.000	1	$ 140.000
4. Operario vial (asfalto)	1 DÍA	$ 50.000	2	$ 100.000
5. Operario Civil	1 DÍA	$ 50.000	2	$ 100.000
6. Operario técnico	1 DÍA	$ 56.000	2	$ 112.000

Fuente: Elaboración propia

Se evidencia que el costo por cada recurso mensualmente sería un total de $14.520.000, el cual se evidencia en la tabla.

Ilustración 52 – Costos de Recurso Humano por mes.

NOMBRE	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL MENSUAL
1. Supervisor Civil	1 MES	$ 100.000	1	$ 3.000.000
2. Supervisor Eléctrico	1 MES	$ 88.000	1	$ 2.640.000
3. Coordinador de mantenimiento (Posventa)	1 MES	$ 140.000	1	$ 4.200.000
4. Operario vial (asfalto)	1 MES	$ 50.000	2	$ 1.500.000
5. Operario Civil	1 MES	$ 50.000	2	$ 1.500.000
6. Operario técnico	1 MES	$ 56.000	2	$ 1.680.000
TOTAL	**$ 14.520.000**			

Fuente: Elaboración propia

6.7 **Infraestructura Física:**

Frente a la infraestructura física no se debe generar una inversión ya que el proyecto plantea utilizar la misma infraestructura del sistema eléctrico actual razón por la cual no se generan costos adicionales, cabe aclarar que en el cuarto de energía ya existente en el túnel se instalarán las baterías que requiere el sistema piezoeléctrico para el almacenamiento de la energía producido por el mismo.

6.8 **Equipos:**

Los equipos que requiere el proyecto para una óptima ejecución se presentan en el estudio técnico del proyecto para cada una de las hipótesis:

Sin embargo, se realiza un resumen general de los equipos necesarios para la ejecución del proyecto en la siguiente Tabla:

lustración 53 – Costos de Equipos.

Equipo	Valor	Cantidad	Total Costo por Equipo
Lamparas LED	$ 350.000	512	$ 179.200.000
Piezoeléctrico	$ 1.200.000	4400	$ 5.280.000.000
Rectificador	$ 1.775.000	9	$ 15.975.000
Banco de baterias	$ 2.250.000	7	$ 15.750.000
Inversor	$ 2.700.000	6	$ 16.200.000
		Total costo Equipos	$ 5.507.125.000

Fuente: Elaboración propia

6.9 **Materiales:** Los materiales del proyecto son los descritos en el punto 6.8 y 4.7 respectivamente.

6.11 **Inversión:** La inversión del proyecto para cada uno de los escenarios se realiza por parte de la concesión Coviandes ya que se asume el costo del proyecto por parte de la concesión y queda a potestad si requieren o no generar apalancamientos créditos o simplemente lo realizan con capital propio de la organización.

6.13 **Costo Capital:** El costo capital del proyecto se asume por parte de la concesión de coviandes en este se relaciona el costo del personal encargado del proyecto y los equipos necesarios para el desarrollo del mismo, en la siguiente tabla se puede evidenciar:

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8. REFERENCIAS

Abriata, J. P. (2013). Una mirada a la conversión de la energía. *Hojitas de Conocimiento. Energía; n° 12*.

Innowattech. (27 de 10 de 2016). Innowattech. Obtenido de www.innowattech.co.il

Cúpich Rodríguez, M., & Elizondo Garza, F. J. (2000). Actuadores piezoeléctricos. *Ingenierías*, *3*(6), 22-28.

Castellanos, N. (2013). Evaluación preliminar del uso del efecto piezoeléctrico para generación de energía. *INVENTUM*, *8*(15), 35-40.

Jiménez, B. (1995). Materiales piezoeléctricos: formas de presentación ventajas y desventajas en las aplicaciones.

Daza Ramírez, F. (2010). Optimización del algoritmo de control del sistema de iluminación del túnel Buenavista de la carretera Bogotá - Villavicencio / Algorithm optimization of lighting control system of tunnel road Buenavista Bogotá – Villavicencio.

Cansinos Bajo, A. (2018). Guía de iluminación en túneles e infraestructuras subterráneas.

Serrano-Tierz, A., Martínez-Iturbe, A., Guarddon-Muñoz, O., & Santolaya-Sáenz, J. L. (2015). Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial: Un estudio de caso. *Dyna*, *82*(191), 231-239.

Ley 2099 del 10 de julio de 2021 - "*Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones*".

https://www.offgridenergyindependence.com/articles/1589/energy-harvesting-roads-in-israel

https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/679362/Fernandez_Ramos_Alvaro_tfg.pdf?sequence=1

https://www.emeisa.mx/vft.php#:~:text=Las%20Bater%C3%ADas%20modelo%20VFT%20de,nivel%20de%20seguridad%20y%20fiabilidad.

4. ANEXOS