

# **Estudio de factibilidad en el funcionamiento del alumbrado público a través de la implementación de energía eléctrica producida por gas natural e hidrogeno en el municipio de La Calera, Cundinamarca**

## Estudio de factibilidad en el funcionamiento del alumbrado público a través de la implementación de energía eléctrica producida por gas natural e hidrogeno en el municipio de La Calera, Cundinamarca

### *Feasibility study in the functioning of public lighting through the implementation of electric energy produced by natural and hydrogen gas, in the municipality of La Calera - Cundinamarca*

Duberney Camargo Sánchez

Estudiante de Ingeniería industrial de la Corporación Universitaria Iberoamericana. Ingeniero y Tecnólogo Electromecánico. Gerente de la empresa Ahorro y Eficiencia Energética SAS. Correo electrónico: [duberneycamargo@gmail.com](mailto:duberneycamargo@gmail.com)

#### Resumen

La presente propuesta de investigación se estructuró en el marco de los procesos de investigación del semillero SivFI, de la facultad de Ingeniería de la Universidad Iberoamericana, en Colombia. Esta investigación se ha alineado con el séptimo objetivo de desarrollo sostenible denominado "Energía asequible y no contaminante", promovido por las naciones unidas en la agenda para el desarrollo sostenible del planeta, el cual indica la necesidad de "Aumentar la producción de energía fiable, ininterrumpida y suficiente como preparación para una recuperación económica más sostenible". En concordancia con esta realidad, el sistema de alumbrado público se ha convertido en un servicio público no domiciliario. Este brinda condiciones de iluminación que generan una sensación de seguridad a los peatones y una adecuada visibilidad a los conductores de vehículos en zonas con alta circulación peatonal. Pero en la actualidad, los sistemas de alumbrado público siguen en una constante expansión en las fronteras de las grandes ciudades del mundo; además, representan cerca del 5% de la energía total producida por un país durante un año. Por consiguiente, la producción de energía fiable y sostenible con el ambiente es el eje transversal de la presente investigación. También tiene como propósito el desarrollo de un estudio de factibilidad que permita evaluar las condiciones necesarias para la implementación de un sistema de alumbrado que emplee energías limpias (gas natural e hidrogeno). Por tanto, en la realización del presente estudio fue necesario identificar las características del sistema de alumbrado, definir los criterios técnicos, operativos y regulatorios para la futura implementación del sistema de generación de energía eléctrica a partir de gas natural e hidrogeno y establecer un procedimiento que permita, de manera rápida y fiable, determinar el consumo energético que debe tener dicho alumbrado público, con el fin de promover sistemas de iluminación con mayor eficiencia energética pero sostenibles con el medio ambiente.

**Palabras clave:** alumbrado público; cobertura; energías limpias; energía eléctrica; factibilidad; sostenibilidad.

## Abstract

This research proposal was structured within the framework of the research processes of the SIvFI seedbed, of the Faculty of Engineering of the Ibero-American University. This research has been aligned with the seventh objective of sustainable development called "Affordable and non-polluting energy" promoted by the United Nations in the agenda for the sustainable development of the planet, which indicates the need to "Increase the production of reliable, uninterrupted and sufficient energy in preparation for a more sustainable economic recovery". In accordance with this reality, the public lighting system has become a non-residential public service, which provides lighting conditions that generate a sense of safety for pedestrians and adequate visibility for vehicle drivers in areas with pedestrian high traffic. But today, public lighting systems continue to be constantly expanding on the borders of the world's great cities, and they also represent about 5% of the total energy produced by a country during a year. Therefore, the production of reliable and sustainable energy with the environment is the transversal axis of this research, and that also has the purpose of developing a feasibility study that allows evaluating the necessary conditions for the implementation of a lighting system that use clean energy (natural gas - hydrogen). Therefore, in carrying out this study it was necessary to identify the characteristics of the lighting system, define the technical, operational and regulatory criteria for the future implementation of the electric power generation system from natural gas and hydrogen and establish a procedure that allow, quickly and reliably, to determine the energy consumption that such public lighting must have, in order to promote lighting systems with greater energy efficiency but sustainable with the environment.

**Keywords:** public lighting; coverage; clean energies; electricity feasibility; sustainability.

## Introducción

**H**ablar de la generación de energía limpia en Colombia, de acuerdo con la integración de las energías renovables no convencionales en el ya mencionado país (2015), es reconocer que el 70% de la generación de energía en el país se produce desde fuentes hídricas y apenas el 0,5% de la capacidad instalada de estos sistemas de generación son amigables con el medio ambiente. Aunque desde el año 2018 el Estado colombiano se trazó la meta de buscar fuentes de generación limpias, apenas se han conseguido el 50% de sistemas en la generación de energía. La demanda de energía eléctrica en la nación durante el año 2018 llega a los 54.833 millones de pesos, teniendo un crecimiento del 4,32% en relación con la demanda del 2017.

Actualmente, en la nación se encuentran distribuidos porcentualmente los diferentes sectores de consumo per cápita de energía eléctrica, así: 43,13% sector residencial, 27,73% industrial, 20,45% comercial, 3,32% oficial, 2,71% alumbrado público, 2,36%

especial (asistencial + educativo) y 0,31% provisional. El alumbrado público puede llegar a representar el 40-50% del consumo energético de un municipio. Por tanto, es necesario definir algunas de las tecnologías más eficientes que se encuentran en el sector y algunas medidas que pueden aplicarse para reducir el valor del kW/ hora, lo cual se puede lograr usando energía eléctrica a partir de gas natural e hidrogeno.

Colombia tiene una de las matrices de generación eléctrica más limpias del mundo. A diciembre de 2018 la capacidad instalada de generación en el Sistema Interconectado Nacional fue de 17.312 Mega-watts (MW). De esta capacidad instalada, el 68,4% correspondió a generación hidráulica, casi el 30% a generación térmica (13,3% con gas natural, 7,8% con combustibles líquidos y 9,5% con carbón) y aproximadamente el 1% con Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), como la eólica, solar y biomasa.

Por lo anterior es importante recordar que el primero de enero de 2019 el presidente Iván Duque y el Ministerio de Ambiente se comprometieron en la Enmienda Kigali a reducir un 57% las emisiones de carbono; así como también a que el 70% de la energía eléctrica que consumamos se genere a partir de fuentes renovables para el año 2030. Tanto el Acuerdo de Kigali, como la enmienda, ha sido firmada por más de 30 países.

Los habitantes del municipio de La Calera, ampliamente reconocido a nivel nacional, han venido presentando deficiencias y costos elevados en el servicio de energía eléctrica, que incluye el servicio de alumbrado público. A lo largo de la última década se realizó a nivel municipal una gran inversión en el sistema de alumbrado, del cual no gozaba todo el municipio. Sin embargo, con el fin de contribuir a la economía de los hogares, y también a reducir el impacto ambiental, se pretende determinar la viabilidad de generar energía para el alumbrado público a través de energías limpias y renovables.

Por tanto, ¿bajo qué circunstancias y condiciones es viable la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica con gas natural e hidrogeno para cubrir el servicio de alumbrado público en el municipio de La Calera, Cundinamarca?

Este proyecto satisface la necesidad de contar con un buen alumbrado público y, a su vez, reduce el impacto económico en el pago de los servicios de energía eléctrica. Además de esto, sería un gran aporte al medio ambiente al demostrar la factibilidad. También se puede demostrar el bajo impacto de este en el medio ambiente, pues se reduce la huella ecológica en la prestación del servicio de alumbrado.

## Metodología

La presente investigación se fundamenta en un enfoque cuantitativo, en la medida en que se busca determinar la viabilidad en el uso de energías limpias a partir de gas natural e hidrogeno, para la puesta en funcionamiento de un sistema de alumbrado público. Este enfoque permite inicialmente la identificación de las variables que regularán el nuevo

sistema energético y garantizará la definición de las ventajas de dicho sistema, para con el ambiente y la economía. Según Landeau (2007), así como Cruz, Olivares y González (2014), la investigación cuantitativa pretende establecer el grado de asociación o correlación entre variables; la generalización y objetivación de los resultados por medio de una muestra, con el fin de realizar inferencias causales y así poder brindar explicaciones sobre por qué sucede o no determinado hecho o fenómeno. Por ello se ha establecido como punto de partida de causalidad la siguiente hipótesis: si se implementará un sistema autogeneración de energía aislado, se logrará el ahorro en los costos de energía en el servicio de alumbrado público al producirla a menor precio.

Para la validación de dicho contexto hipotético de la propuesta será necesario ejecutar las siguientes fases:

**Fase 1:** identificación de las características técnicas del sistema de alumbrado público del municipio de La Calera, por medio de una matriz de registro, en la cual se plasman los siguientes aspectos.

- Recolección de los datos de facturación histórica de energía y proyección de aumento ven el consumo de alumbrado público, lo cual permite determinar de voltaje de generación.
- Cálculo de la carga existente en el sistema.
- Determinar la estabilidad del sistema, ocurrencia de oscilaciones de frecuencia, tensión, corriente y sistemas de protección.

**Fase 2:** definición de criterios técnicos, operativos y regulatorios para la implementación del sistema de generación de energía eléctrica a partir de gas natural e hidrogeno en la cual se definen:

- Diseños eléctricos.
- Diseños electromecánicos.
- Inversión y viabilidad económica del proyecto.
- Determinar del sitio de ubicación de la planta y puntos de conexión al sistema eléctrico nacional.
- Escogencia del equipo generador.
- Instalación del equipo generador.

**Fase 3:** establecimiento de un modelo de estimación matemático que permita, de una manera rápida y fiable, determinar el consumo energético que debe tener un alumbrado público. Debe tener presente los siguientes aspectos:

- Variables medibles en el arranque del sistema.
- Variables que establezcan las condiciones de uso y mantenimiento del sistema.
- Manual de implementación y uso.
- Plan de mantenimiento proyectado a 10 años.

**Fase 4:** corroborar la hipótesis a través del impacto generado, por la implementación del sistema y gracias a las estimaciones elaboradas en la anterior fase.

Finalmente, al ser una investigación cuantitativa de orden correlacional, se logrará evaluar la relación que existe entre las variables de generación energética (kwh) a un menor costo, con el fin de validar la hipótesis señalada.

## Desarrollo y análisis de resultados

El estudio de factibilidad del sistema que se pretende implementar depende básicamente de la estabilidad del sistema, ocurrencia de oscilaciones de frecuencia, tensión, corriente y sistemas de protección. A través del estudio de estas variables se espera que con la implementación del sistema se garantice la estabilidad, el rendimiento, calidad y economía en la prestación del servicio de energía eléctrica para el alumbrado público. Para el análisis de la información se tienen dos tipos de herramientas; la primera orientada al análisis de datos mediante bases de datos y hojas de cálculo, que permitirán realizar un estudio detallado de la información y datos encontrados o que estarán en monitoreo durante la primera fase. La otra herramienta será a través de matrices de información en las cuales se podrán detallar paso a paso el resultado de los análisis de datos realizados anteriormente y los detalles de los diferentes procesos en las etapas a ejecutar, de acuerdo con las diferentes fases, en donde para su análisis se tendrán en cuenta la ruta trazada en cada una de las fases expresadas en la metodología. También el sistema a implementar estará en comparación con el sistema actual, con el fin de tener una mayor visión a la hora de determinar la viabilidad de este frente al existente.

**Fase 1:** identificación de las características técnicas del sistema de alumbrado público del municipio de La Calera.

Para el año 2019 el servicio de alumbrado público de La Calera contaba con 2.753 luminarias en operación, en su gran mayoría de sodio de alta presión, con las características que se pueden observar en la tabla 1.

**Tabla 1.** Luminarias instaladas en el municipio de La Calera.

| Luminarias Instaladas en el Municipio de La Calera |                        |                |
|--|------------------------|----------------|
| Tipo de Luminaria                                  | Cantidad de Luminarias | Potencia [KW]  |
| Luminaria de Sodio 70 W                            | 2294                   | 160,580        |
| Luminaria de Sodio 150 W                           | 295                    | 44,250         |
| Luminaria de Led de 70 W con panel Solar           | 9                      | 0,630          |
| Luminaria Led de 70 W                              | 82                     | 5,740          |
| Luminaria Led de 110 W                             | 19                     | 2,090          |
| Luminaria Led de 55 W                              | 54                     | 2,970          |
| <b>TOTAL</b>                                       | <b>2753</b>            | <b>216,260</b> |

Fuente: Alcaldía de La Calera, 2018.

Respecto al consumo de energía de estos para la fecha, se tiene consignado en el documento público de interventoría que:

Los costos energéticos, los cuales son relevantes al definir las cargas operativas, toda vez que la energía es costeada por el ciudadano a través del impuesto de alumbrado público. Actualmente la demanda se calcula por aforo de carga y por el consumo de energía registrado mediante 5 medidores que se encuentran en la vía nacional. (Alcaldía de La Calera, 2018, p. 20)

**Fase 2:** definición de criterios técnicos, operativos y regulatorios para la implementación del sistema de generación de energía eléctrica a partir de gas natural e hidrogeno.

De acuerdo con Agudelo, Chica y Carrascal (2002), en el artículo "El hidrogeno, una solución energética" describen que este elemento es una de estas fuentes que tiene grandes ventajas ambientales. Es un elemento abundante en la naturaleza, constituyente del agua. En forma molecular es un gas ligero y puede servir como almacén energético. Además, se produce por electrólisis del agua mediante los excedentes energéticos diurnos o el empleo de la energía solar o eólica y posteriormente se puede liberar la energía almacenada por cualquier sistema de combustión o con el empleo de las celdas de combustible en las que se transforma directamente la energía química almacenada en el enlace H-H de la molécula H<sub>2</sub>, en energía eléctrica y vapor de agua.

Es importante mencionar que la generación de electricidad a través de celdas de combustible o de combustión interna con base en hidrógeno es un tema distinto. No implica un cambio en las fuentes primarias de energía, pero podría tener gran impacto en el uso de una matriz energética sustentable con el medio ambiente.

Para el caso de este sistema la idea se basa en la producción de hidrógeno verde. Como está demostrado en diferentes países del mundo, se genera a través de un proceso electroquímico conocido como electrólisis, el cual consiste en utilizar electricidad para separar el hidrógeno del oxígeno que está presente en el agua. En dichos procesos de producción, con el uso del hidrógeno mediante combustión y celdas de combustible no hay emisiones de gases efectos invernaderos.

Si bien lo anterior define criterios elementales del sistema de hidrogeno y gas natural para la obtención de energía en Colombia, aun no existen regulaciones puestas en marchas para tales fines, es decir, solo se encuentran algunos avances a nivel regulatorio. Durante el año 2020 el Ministerio de Minas y Energía trabajó juntamente con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para definir la hoja de ruta de la implementación del hidrógeno verde dentro de la matriz de energías limpias del país. Además, se presentó ante el Congreso de la República un proyecto de ley para regular en Colombia la producción del hidrógeno verde, con lo cual se propende por la diversificación de la matriz energética, en pro de un desarrollo sostenible y consciente con el medio ambiente. Por tanto, la Unidad de Planeación Minero-Energética (Upme, 2015) como el Ministerio de Ciencia y Tecnología,

vienen adelantando estudios para identificar el potencial de Colombia en la producción y comercialización del hidrógeno, lo que comprende un análisis de los impactos de incluirlo dentro de la matriz energética del país y su influencia en la disminución de emisiones (Ospina, 2021).

Para cerrar, es elemental el establecimiento de un modelo de estimación matemático, que permita de una manera rápida y fiable determinar el consumo energético que debe tener un alumbrado público. Se deben tener en cuenta las características del sistema a implementar, las inversiones en luminarias si se deben realizar y el costo operativo que implica implementar un sistema nuevo, para ello se adjunta tabla de los elementos priorizados en este modelo.

## Conclusiones

Se espera que a través de la ejecución y desarrollo del presente proyecto a corto plazo se produzca el cambio de hábitos en el consumo de energía en el municipio de La Calera para su alumbrado público, los beneficiará económicamente y se podrán cubrir todas sus obligaciones del sistema de alumbrado público. A mediano plazo se espera contar con todas las condiciones de factibilidad a nivel económico, científico y social a través para la implementación masiva de la energía eléctrica a partir de hidrogeno y a largo plazo se espera que este modelo pueda ser replicado y aplicado en otros municipios del país y, por qué no, en un futuro convertirse en otra fuente alternativa de energía eléctrica en el país.

Además, se prevé un rendimiento medioambiental con las emisiones evitadas por el uso de un sistema de generación de energía con gas natural e hidrogeno. Segundo, obtener el análisis de sostenibilidad y retorno de inversión con el cual se espera evidenciar la rentabilidad del proyecto y atraer la inversión del capital. Tercero, evidenciar los altos costos del servicio de energía eléctrica que se presenta en los municipios en alumbrado público.

Cuarto, identificar los beneficios sociales y económicos que genera la solución de mejoramiento del suministro de energía eléctrica con gas natural e hidrogeno para el alumbrado público. Finalmente, determinar de acuerdo con la investigación implementada, la formulación técnica y logística del proyecto para suplir energía eléctrica a los alumbrados públicos de Colombia.

## Referencias

- Alcaldía de La Calera. (2018). *Plan anual del servicio de alumbrado público en el municipio de La Calera, Cundinamarca, para el año 2019*. [https://www.lacalera-cundinamarca.gov.co/Transparencia/BancoDocumentos/Dolmen\\_1.pdf](https://www.lacalera-cundinamarca.gov.co/Transparencia/BancoDocumentos/Dolmen_1.pdf)
- Agudelo, S., Chica, E. y Carrascal, E. (2002). El hidrógeno, una solución energética. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (25), 142-148.
- Cruz, C., Olivares, S. y González, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Grupo Editorial Patria.
- Landeau, R. (2007). *Elaboración de trabajos de investigación*. Editorial Alfa.
- Ospina, J. (2021). Avances regulatorios del Hidrógeno Verde en Colombia. Asuntos legales. <https://www.asuntoslegales.com.co/consultorio/avances-regulatorios-del-hidrogeno-verde-en-colombia-3155972>
- Unidad de Planeación Minero Energética [PME]. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. La imprenta editores. <http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1311>

