Diseño de un plan de eficiencia energética conforme a la norma ISO 50001 y los principios del desarrollo sostenible en empresa de transporte público de pasajeros en Medellín

Andrés Santiago Romero Hernández

Angie Juliana Sepúlveda Otálvaro

Universitaria Agustiniana - Uniagustiniana

Facultad de Ingeniería

Especialización en Gestión Ambiental para el

Desarrollo Sostenible

Bogotá D.C.

2025

Diseño de un plan de eficiencia energética conforme a la norma ISO 50001 y los principios del desarrollo sostenible en empresa de transporte público de pasajeros en Medellín

Andrés Santiago Romero Hernández

Angie Juliana Sepúlveda Otálvaro

Tutora:
Laura Carolina Diaz Ospina

Trabajo para optar al título de

Especialización en Gestión Ambiental para el Desarrollo Sostenible

Universitaria Agustiniana - Uniagustiniana

Facultad de Ingeniería

Especialización en Gestión Ambiental para el

Desarrollo Sostenible

Bogotá D.C.

2025

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo a Dios, a nuestras familias, profesores y profesoras, compañeros y compañeras y a todas las personas que de alguna u otra manera hicieron parte de este camino de formación profesional

Agradecimientos

Agradecemos enormemente a Dios por permitirnos estudiar esta especialización en la que no solo aprendimos a nivel profesional sino también personal, agradecemos a los profesores y profesoras, compañeros y compañeras que transmiten y enriquecen el conocimiento a través de sus experiencias y conocimientos.

Tabla de contenido

Resumen (Abstract) 9

Abstract (Resumen) 10

1. Introducción 11
2. Planteamiento del problema 14
   - 2.1 Descripción del problema 15
   - 2.2 Formulación del problema 16
3. Justificación 17
4. Objetivos 19
   - 4.1 Objetivo general 19
   - 4.2 Objetivos específicos 19
5. Marco teórico 21
6. Diseño metodológico 24
   - 6.1 Tipo de enfoque 24
   - 6.2 Población 24
   - 6.3 Muestra y técnica de muestreo 24
   - 6.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 24
   - 6.5 Cuadro del diseño metodológico 24
7. Desarrollo del estudio 27
   - 7.1 Diagnóstico inicial del consumo energético 27
   - 7.2 Revisión y análisis de consumos 29
   - 7.3 Identificación de oportunidades de mejora 32
   - 7.4 Diseño del plan de eficiencia energética alineado con la ISO 50001 33

7.5 Validación de los resultados obtenidos 35

8. Resultados y análisis de resultados 37

9. Propuesta de mejora 39

10. Conclusiones 40

11. Referencias 42

Anexos 46

Lista de tablas

Tabla 1. Cuadro del diseño metodológico 25

Tabla 2. Indicadores política energética 33

Lista de figuras

Figura 1. Ciclo de mejora continua 22

Figura 2. Flujo de procesos de revisión e implementación del plan de eficiencia energética 28

Figura 3. Consumo energético por categoría 29

Figura 4. % de contribución de consumo energético por categoría 30

Resumen (Abstract)

El presente trabajo tuvo como propósito llevar a cabo un diagnóstico energético en una empresa de transporte público de pasajeros ubicada en la ciudad de Medellín para establecer una línea base del consumo energético, identificar procesos críticos y proponer acciones de mejora que fortalezcan la eficiencia energética en su operatividad alineado con la norma ISO 50001:2018. Para ello, se analizaron los consumos mensuales promedio de energía, se sectorizaron los procesos de mayor incidencia y se estimaron las emisiones indirectas de CO_2e asociadas al uso de energía. El análisis permitió proponer líneas de mejora orientadas a la optimización de la carga energética de los buses eléctricos, modernización de sistemas de iluminación y fortalecimiento de la cultura energética por parte del personal. Además, el estudio aporta al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, al promover un uso más eficiente de la energía y poder contribuir con la reducción de la huella de carbono dentro de la operación.

Estos hallazgos demuestran que la implementación de sistemas de gestión de la energía (SGEn) constituyen una base robusta para futuras investigaciones que se encuentren alineadas con la norma ISO 50001.

Palabras clave: rendimiento energético, cambio climático, movilidad sostenible, normatividad ambiental, desarrollo sostenible.

Abstract (Resumen)

The purpose of this study was to carry out an energy diagnosis in a public passenger transport company located in the city of Medellín to establish a baseline of energy consumption, identify critical processes, and propose improvement actions that enhance energy efficiency in its operations in line with the ISO 50001:2018 standard. To achieve this, the average monthly energy consumption was analyzed, the processes with the greatest impact were categorized, and the indirect CO_2e emissions associated with energy use were estimated. The analysis allowed for the proposal of improvement strategies aimed at optimizing the energy load of electric buses, modernizing lighting systems, and strengthening the energy culture among staff. Furthermore, the study contributes to the achievement of the sustainable development goals by promoting a more efficient use of energy and helping to reduce the carbon footprint within the operation.

These findings demonstrate that the implementation of energy management systems (EnMS) provides a solid foundation for future research that aligns with the ISO 50001 standard.

Keywords: energy performance, climate change, sustainable mobility, environmental regulations, sustainable development.

1. Introducción

El transporte público de pasajeros constituye uno de los principales pilares de la movilidad urbana en la capital antioqueña, una ciudad caracterizada por su compleja orografía y topografía, alto nivel de congestión vehicular, densidad demográfica creciente y una alta dependencia histórica a los combustibles fósiles (AMVA, 2022). Además, este sector facilita la conectividad social y económica, así como la representación de una parte significativa del consumo energético y la emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes totales en el Valle de Aburrá (Bedoya & Martínez, 2009). La industria del transporte público de pasajeros en Medellín enfrenta desafíos relacionados con el consumo energético, las emisiones atmosféricas y el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, por lo cual se propone diseñar un plan de eficiencia energética fundamentado en la norma ISO 50001 que permitirá optimizar la utilización de combustibles, reducción de costos operativos, mejorar la competitividad de las empresas de transporte público, fortalecer la gestión integral del servicio de movilidad y contribuir al desarrollo sostenible. Según diagnóstico realizados por entidades locales y nacionales, la movilidad basada en Diesel (ACPM) y Gas Natural Vehicular (GNV) contribuye imperativamente a la degradación y deterioro de la calidad del aire, especialmente en horas de alto flujo vehicular que afectan la salud pública y productividad urbana (Lajunen & Lipman, 2016).

Esta problemática genera la necesidad de adoptar prácticas y estrategias integrales que promuevan la optimización del consumo energético en empresas de transporte público, así como la reducción del impacto ambiental generado, sin comprometer la calidad ni la continuidad del servicio (Pojani & Stead, 2015). En este sentido, la eficiencia energética es un pilar estratégico para la industria de transporte, ya que no solo permite la reducción de costos operativos asociados al consumo de combustible e infraestructura, sino también impulsa una

transición hacia prácticas encaminadas al desarrollo sostenible, lo cual se alinea con los compromisos climáticos nacionales e internacionales (Ministerio de Minas y Energía, 2023).

Ahora bien, la norma ISO 50001 emerge como herramienta de gestión altamente efectiva, dada la proporción de un marco sistemático para diseñar, implementar y mejorar un Sistema de Gestión de la Energía (SGEn) destinado a lograr un uso responsable, eficiente y racional de los recursos energéticos (International Organization for Standardization, 2018). Su enfoque, se fundamenta en el ciclo PHVA, facilita la integración del componente energético en todos los niveles empresariales, abarcando la alta gerencia y el personal operativo, lo cual favorece tomar decisiones sustentadas en datos y evidencias (Presidencia de Colombia, 2015). La opción de la norma ISO 50001 representa una oportunidad para fortalecer la cultura empresarial, en torno al uso sostenible de la energía, así como avanzar hacia modelos de movilidad más limpios. Al mismo tiempo, esta implementación se alinea con los principios del desarrollo sostenible, que buscan equilibrar los beneficios económicos con la preservación de la naturaleza y el bienestar de las comunidades. Esto implica la promoción de tecnologías que reduzcan las emisiones contaminantes, minimicen los riesgos ambientales, optimicen los procesos operativos y garanticen que la movilidad sea segura, accesible, económica y ambientalmente responsable con la sociedad.

Adicionalmente, la ciudad de Medellín avanza hacia una consolidación de un sistema de transporte integrado de buses, metro, tranvía, bicicleta y rutas complementarias. En este contexto, la eficiencia energética es un factor crítico para la sostenibilidad financiera de las empresas, el mejoramiento en la calidad atmosférica, la reducción de la huella ecológica del territorio y el cumplimiento de los compromisos del Plan de Acción Climática 2020-2050 (Alcaldía de Medellín, 2021). Por lo tanto, el diseño de este plan conforme a la normativa ISO 50001, integrado con los principios del desarrollo sostenible, representa una estrategia

fundamental que no solo contribuye a mejorar la competitividad y rentabilidad del sector transporte público en Medellín, sino que aporta significativamente a la sostenibilidad urbana (Vanegas Lopez & Botero Botero, 2012). Este enfoque permite a las empresas evolucionar hacia modelos de operación más limpios, eficientes y resilientes, fortaleciendo su capacidad para enfrentar los retos ambientales, económicos y sociales (Lajunen & Lipman, 2016).

El contenido de este trabajo está estructurado por un planteamiento de problema, justificación, objetivos, marco teórico, diseño metodológico, desarrollo del estudio, resultados, análisis de resultados, propuesta de mejora, conclusiones y referencias bibliográficas.

2. Planteamiento del problema

El aumento en la demanda energética a nivel global está generando impactos significativos al medio ambiente, principalmente por el uso de fuentes de energía no renovables que contribuyen con las emisiones contaminantes y al cambio climático (Toscano, Cabellos & Martinez, 2023). En Colombia, el sector de transporte y de servicios presenta un alto potencial de mejora en sus consumos energéticos, sin embargo, muchas organizaciones no cuentan con diagnósticos energéticos, ni indicadores de desempeño ni planes de eficiencia que les permitan gestionar de manera integral los recursos naturales. El transporte es uno de los campos con mayores niveles de ineficiencia energética en el país, particularmente en el transporte público de pasajeros de buses en empresas privadas. La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), indica que en Colombia la energía útil es apenas del 31% de la energía de uso final, razón que deriva en una ineficiencia energética del 67% dentro del consumo general (BMC, 2021).

En este sentido, en la ciudad de Medellín el indicador de consumo energético en Megajulios por kilómetro por persona (MJ*Km*Persona) que recorre en transporte público corresponde a 1.0 MJ/pasajero*km, es decir, un poco mayor al promedio reportado en algunas

ciudades, donde se evidencia que esta problemática se debe al alto consumo de combustibles no eficientes como el Diesel (ACPM), en efecto, aproximadamente el 98,8% del total de buses de Medellín trabajan con este tipo de combustible, lo que representa un 41% del consumo energético de la capital antioqueña (Serna, 2014).

Ahora bien, en términos de las emisiones estimadas de PM2.5 en el Valle de Aburrá para el 2022 aumentaron un 34% respecto a las estimadas en 2018, debido a que en la región persiste la circulación de vehículos con este tipo de tecnologías contaminantes asociados a factores de emisión muy altos, en particular, para los buses pasó de 33 toneladas a 252 toneladas de PM2.5 (AMVA, 2022).

Esta situación conlleva a mayores costos operacionales, aumento de emisiones y desaprovechamiento de oportunidades de ahorro y competitividad. Debido al aumento en la demanda energética del país, especialmente, en Medellín, donde su crecimiento socioeconómico ha generado que el consumo de energía sea cada vez mayor, causando una serie de problemas socioambientales y dificultades económicas.

Por lo tanto, surge la necesidad de diseñar un plan de eficiencia energética que logre establecer la línea base de consumos, identificar oportunidades de mejora y proponer estrategias sostenibles para optimizar el uso de la energía.

2.1 Descripción del problema

El cambio climático y el calentamiento global se han intensificado debido a la contaminación del aire y emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI), principalmente generados por actividades antropogénicas como la urbanización acelerada, movilidad motorizada, industrialización y fragmentación del territorio. Estos factores no solo incrementan la huella de carbono, sino que también ponen en riesgo la sostenibilidad ambiental y competitividad de las empresas que no adoptan prácticas de eficiencia energética.

2.2 Formulación del problema

¿Cómo diseñar un plan de eficiencia energética alineado con la norma ISO 50001 y los principios del desarrollo sostenible que optimice el consumo de energía en áreas de mantenimiento e instalaciones en empresa de transporte público de pasajeros en Medellín, reduciendo costos y emisiones de gases efecto invernadero?

3. Justificación

La eficiencia y transición energética representan un pilar estratégico hacia el carbono neutralidad y sostenibilidad empresarial. Diseñar un plan de eficiencia energética en empresa de transporte público de pasajeros alineado con la normativa ISO 50001, permitirá no solo disminuir el consumo energético y costos operativos, sino también reducir las emisiones contaminantes asociadas a sus operaciones, lo cual representa un reto en términos de calidad de aire para la ciudad de Medellín. De esta manera, poder conectar con políticas nacionales como la ley 697 de 2001 y ley 2099 de 2021, para fomentar el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE), modernizar la tecnología energética, dinamizar el mercado energético, incentivar tecnologías emergentes y promover la reactivación económica del país.

Cabe mencionar que, el proyecto tiene relevancia en el marco de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), específicamente, con el Objetivo 7 (Energía asequible y no contaminante) y el Objetivo 13 (Acción por el clima). Asimismo, contribuye con la modernización de procesos de la empresa, mejora su competitividad y la posiciona como referente en prácticas de sostenibilidad en el sector de transporte masivo.

Especialmente, en el Valle de Aburrá se tiene un plan de acciones por el aire, el cual contiene estrategias para reducir los niveles de contaminación, mejorar la calidad del aire, proteger la salud pública y propender por un desarrollo metropolitano sostenible. Este plan se denomina como “Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire (PIGECA)”, el cual más que

aplicar sanciones contempla recomendaciones para ser asumidas por diversos actores del territorio. En este caso, el eje temático corresponde a la transformación hacia un sistema de movilidad de bajas emisiones, que cuenten con indicadores de seguimiento y monitoreo, permitiendo verificar la información disponible para la toma de decisiones en las empresas de transporte público (AMVA, 2022).

4. Objetivos

El proyecto tiene como propósito diseñar un plan de eficiencia energética basado en la norma ISO 50001 para el área de mantenimiento e instalaciones de una empresa de transporte público de pasajeros en Medellín. Para ello, se realizará el diagnóstico del consumo energético de las actividades, equipos y maquinarias más relevantes, para lo cual se evaluará su impacto ambiental y económico mediante indicadores de eficiencia y emisiones de gases contaminantes, posteriormente se elaborará el plan de gestión energético que establezca metas de ahorro, estrategias de reducción de emisiones y mecanismos de seguimiento continuo orientados a la sostenibilidad.

4.1 Objetivo general

Diseñar un plan de eficiencia energética alineado con la norma ISO 50001 para el área de mantenimiento e instalaciones de una empresa de transporte público en Medellín, con el objeto de reducir costos y emisiones contaminantes en el marco del desarrollo sostenible.

4.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar las actividades, equipos y maquinarias e instalaciones de mayor consumo energético en las áreas de mantenimiento y administrativa de la empresa de transporte público de pasajeros.

- Determinar el impacto ambiental y económico asociado al consumo energético identificado a partir de indicadores de eficiencia energética y emisiones de gases efecto invernadero.
- Diseñar un plan de gestión energética alineado con la norma ISO 50001, estableciendo indicadores de seguimiento, metas de ahorro de energía y estrategias de reducción de emisiones.

5. Marco Teórico

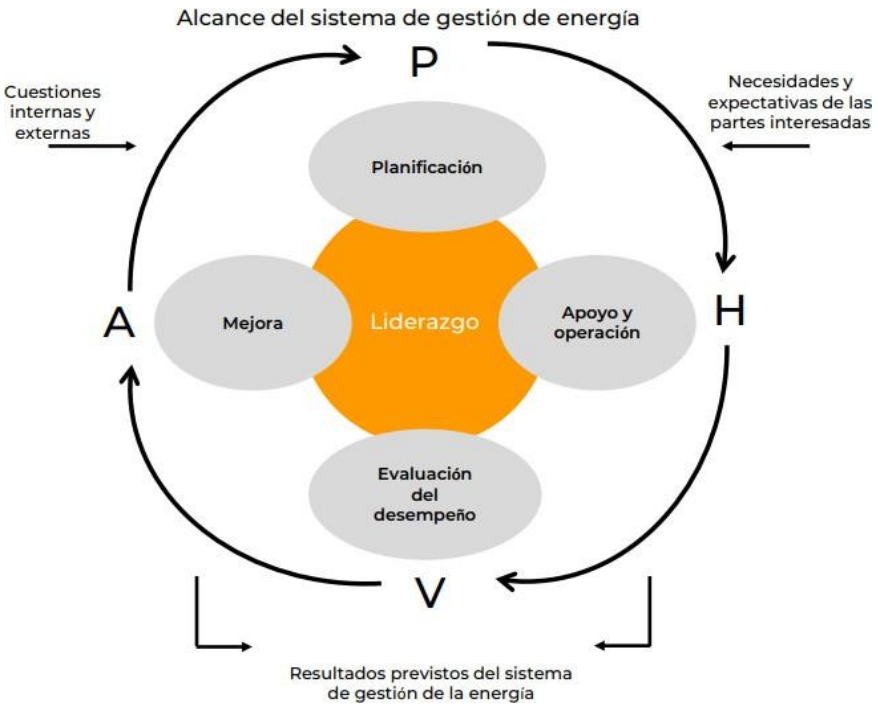
Actualmente, la demanda energética del país ha venido en constante crecimiento, lo que ha permitido generar un sistema de gestión eficiente de la energía. En este sentido, la eficiencia energética habilita la diversificación energética del país, reduce costos operativos, productivos y promueve industrias sostenibles (UPME, 2025), es decir, se busca promover la gestión eficiente de la energía, crear sistemas de medición inteligentes, que comprendan tanto la eficiencia energética como la respuesta a la demanda (Congreso de Colombia, 2022). La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), reconoce que la industria mundial necesita dar una respuesta eficaz al cambio climático y calentamiento global. También, reconoce el aumento de normas nacionales de gestión de la energía, como las desarrolladas por China, Japón, Corea, Tailandia, Dinamarca, Países Bajos, Suecia, Estados Unidos y la Unión Europea en respuesta a la demanda del mercado relacionado con la eficiencia energética (NQA, 2018).

En este contexto, la norma ISO 50001 es una normativa internacional que proporciona un marco de gestión para los sistemas de gestión de la Energía (ASE, 2022), el cual se refiere a un conjunto de elementos interrelacionados para establecer una política y objetivos energéticos, además de los procesos y procedimientos para alcanzarlos (3.9 ISO 50001:2011).

La adopción de un sistema de gestión de energía ofrece ventajas a las empresas, como ayuda en la medición de consumo de energía, reducción de costos en la factura de energía, promueve la disminución de necesidades energéticas y emisiones, participación empresarial con un enfoque sostenible (ESSS, 2023). No obstante, basarse en un marco de mejora continua como lo es el ciclo PHVA, permite organizar los elementos o requisitos en un sistema de gestión de energía a las prácticas empresariales existentes.

Figura 1

Ciclo de mejora continua



Nota. Norma ISO 50001:2018. Fuente: Tomado de: ICONTEC (2025)

Por otra parte, los sistemas de gestión de energía basados en el estándar ISO 50001 pueden soportar los tres pilares fundamentales del desarrollo sostenible (Conuee, 2020).

Económico: mejora la competitividad de las empresas debido a procesos estandarizados en la ejecución y evaluación de proyectos energéticos.

Social: Busca la participación de los responsables de los recursos energéticos, mediante un consumo racional.

Ambiental: Contribuye en la reducción de emisiones de gases efecto invernadero.

6. Diseño metodológico

6.1 Tipo de enfoque

Cuantitativo y cualitativo. Se analizarán los consumos energéticos mediante mediciones e indicadores, complementado con revisión documental, Adicionalmente, se realizarán entrevistas al personal para integrar percepción y prácticas operativas.

6.2 Población

La población corresponde a los elementos de las empresas de transporte público de pasajeros que inciden en el consumo de energía, comprendiendo la flota vehicular, equipos y maquinarias de las instalaciones (patios, talleres y oficinas) asi como el personal responsable de la gestión y uso de la energía.

6.3 Muestra y técnica de muestreo

Se seleccionarán los equipos, maquinarias, procesos y espacios de mayor relevancia de consumo, mediante un diagnóstico inicial. Se utilizará la técnica de muestreo intencional o por conveniencia, dado que se enfocará en los procesos y equipos de mayor relevancia de consumo energético y generación de emisiones contaminantes, que permitan obtener información representativa para el diseño del plan de eficiencia energética.

6.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se realizarán revisiones del área de mantenimiento e instalaciones administrativas de la empresa, adicionalmente revisiones documentales (facturas de energía y calculadora de emisiones). La medida que se va a manejar para calcular el consumo energético es Kilovatio

por hora (kWh), emisiones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) y cifras económicas en pesos colombianos (COP).

Costo mensual de energía = consumo (kWh) x Valor por kWh (COP)

Emisiones (Kg CO_2e) = consumo (kWh) x factor de emisión (Kg CO_2e / kWh)

Factor de emisión = 0,18 Kg CO_2e / kWh

6.5 Cuadro del diseño metodológico

Tabla 1

Cuadro del diseño metodológico

Elemento	Descripción
Enfoque	Cuantitativo y cualitativo
Tipo de investigación	Descriptiva y propositiva
Método	Estudio de caso aplicado a empresa de transporte público de pasajeros en Medellín
Población	Flota vehicular, equipos y maquinarias de las instalaciones (patios, talleres y oficinas) personal responsable de la gestión y uso de la energía
Muestra	Equipos, maquinarias, procesos y espacios de mayor relevancia en consumo y emisiones en kWh, toneladas de CO_2e, respectivamente mediante un diagnóstico inicial
Técnica de muestreo	Muestreo intencional o por conveniencia
Técnica de recolección de datos	Revisión documental y de áreas de mantenimiento e instalaciones administrativas Realización de entrevistas a operarios o gestores de energía para integrar percepción y prácticas operativas
Instrumentos	Registro de consumos energéticos en unidades expresadas en la muestra

Etapas	1. Diagnóstico inicial del consumo energético 2. Revisión y análisis de consumos en kWh, CO_2e y COP. 3. Identificación de oportunidades de mejora 4. Diseño del plan de eficiencia energética alienado con la norma ISO 50001 5. Validación de los resultados obtenidos

Nota. Metodología del plan de eficiencia energética. Fuente: Elaboración propia (2025)

7. Desarrollo del estudio

El desarrollo del estudio se realizó siguiendo las etapas definidas en el diseño mitológico, las cuales permitieron avanzar desde el diagnóstico inicial, revisión y análisis de consumos en kWh, CO2e y COP, donde se identifiquen oportunidades de mejora, diseño del plan de eficiencia alineado con la norma ISO 5001 y validación de los resultados potenciales. Adicionalmente, el análisis incorpora una perspectiva de sostenibilidad basada en Objetivos de Desarrollo Sostenible, en especial, el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y el ODS 13 (Acción por el clima), permitiendo no solo responder a las necesidades operativas de la empresa, sino también fortalecer su compromiso con la transición hacia una movilidad más limpia y responsable. A continuación, se presenta el proceso detallado:

7.1 Diagnóstico inicial del consumo energético

El diagnóstico energético busca identificar los principales consumos energéticos y establecer una línea base preliminar en la empresa de transporte público de pasajeros, cuya operación incluye actividades de mantenimiento y operación de la sede administrativa.

Para ello, se realizó una revisión documental de facturas de energía eléctrica de los últimos periodos (julio-octubre 2025), además de visitas a patios, talleres y oficinas. Dentro del inventario energético se incluyeron procesos críticos en consumo de energía como:

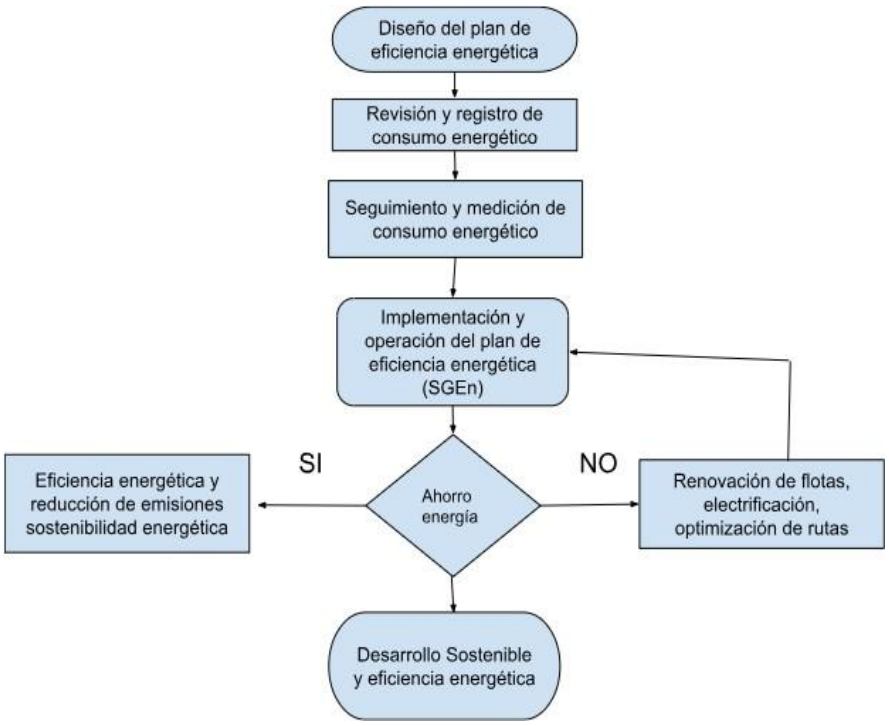
- Compresores de aire utilizados para sistemas neumáticos y labores de mantenimiento
- Hidrolavadoras empleadas para el lavado de buses
- Elevadores hidráulicos, herramientas eléctricas y equipos de taller
- Consumo instalaciones: iluminación de patios y talleres, en muchos casos con tecnologías fluorescentes o halógenas, carga de computadores y equipos tecnológicos
- Sistemas de climatización (aires acondicionados)
- Carga de buses eléctricos

Adicionalmente, se realizaron entrevistas a personal de la organización, con el objetivo de integrar la percepción del personal sobre hábitos, uso de equipos, dificultades y oportunidades de mejora.

En la Figura 2 se puede evidenciar un diagrama de flujo sobre los procesos relacionados al desarrollo e implementación de este plan:

Figura 2

Flujo de procesos de revisión e implementación del plan de eficiencia energética



Nota. Proceso del diseño del plan de eficiencia energética. Fuente: elaboración propia (2025)

7.2 Revisión y análisis de consumos

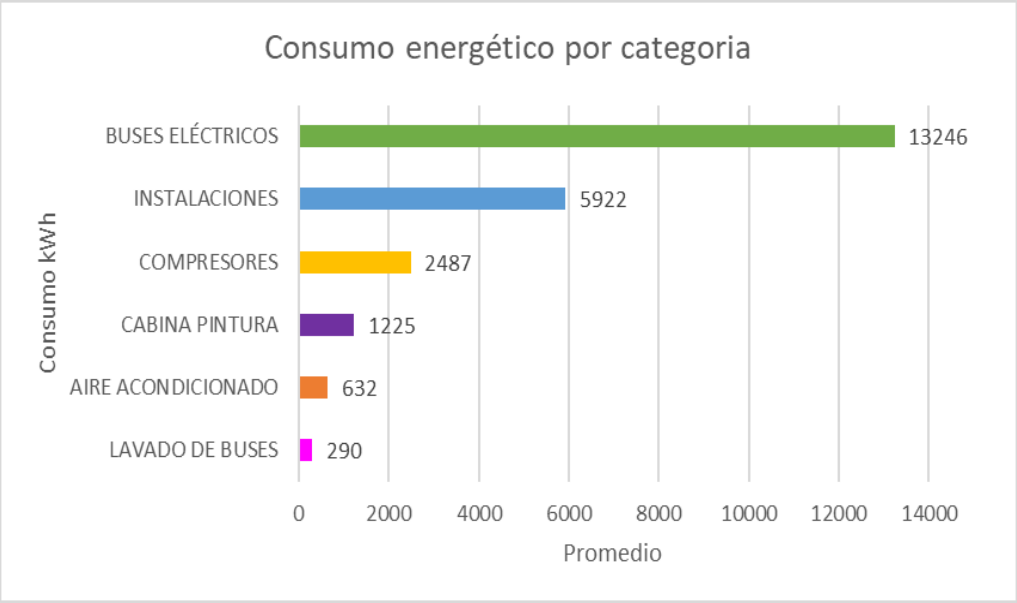
Con base en los datos recopilados, se realizó el cálculo de consumos energéticos diferenciados por proceso, considerando los siguientes elementos:

Consumo total mensual en kWh: el cual corresponde en promedio a un consumo de 22.558 kWh/mes

Consumo por categorías más representativas (compresores, luminarias, cabina de pintura y carga de buses eléctricos): en el Anexo A se evidencian los consumos por mes de julio a octubre del 2025 y que en este ejercicio de análisis tomaremos los datos promedio de consumo expresados en las Figuras 3 y 4.

Figura 3

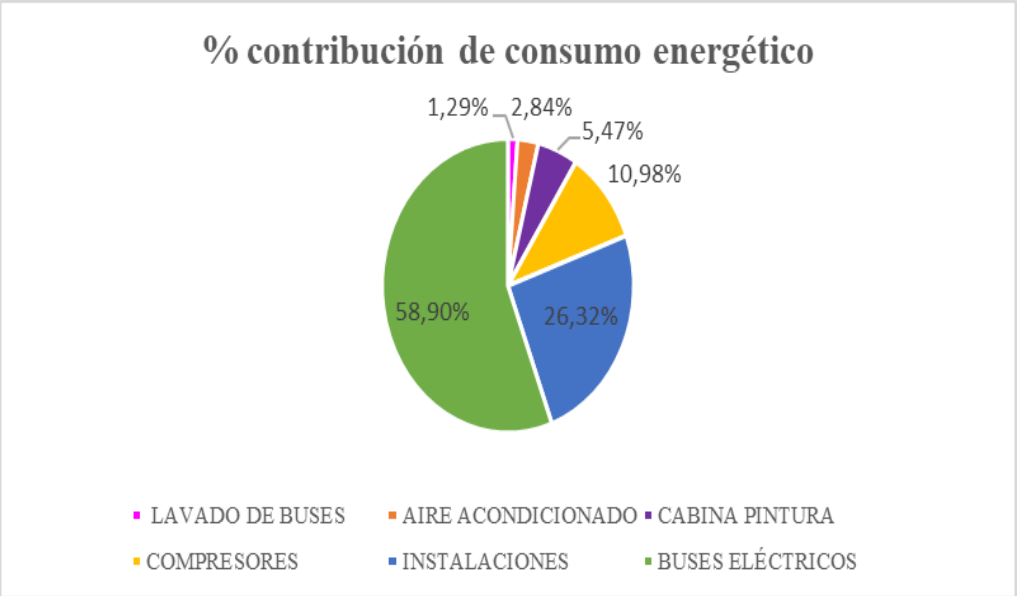
Consumo energético por categoría



Nota. Identificación de consumo de energía. Fuente: elaboración propia (2025)

Figura 4

% contribución de consumo energético por categoría



Nota. Porcentaje de consumo energético por categoría. Fuente: elaboración propia (2025)

Emisiones indirectas de GEI (CO2e): empleando el factor de emisión en Colombia correspondiente a 0,177 Ton CO2e/MWh, dando como resultado una emisión mensual en promedio de 3,993 Ton CO2e (Anexo B).

Costo total mensual en energía (COP): calculado según el valor de kWh determinado en facturación correspondiente a $819,9/kWh, es decir que corresponde a un costo total mensual en promedio de $18.495.304 COP.

El diagnóstico evidencia lo siguiente:

- La carga de los buses eléctricos es el mayor consumidor energético, representando más de la mitad del consumo mensual
- El consumo de las instalaciones es el segundo mayor consumidor, con un 26,32%

- Los otros procesos de mantenimiento representan una proporción menor del consumo energético (20,59% en conjunto), pero siguen siendo relevantes para acciones de eficiencia energética
- Referente al análisis de emisiones indirectas (CO2e), se evidencia una generación de emisiones de 4 Ton en promedio por mes la cual es considerable debido al alto consumo de los buses eléctricos
- En cuanto al análisis económico, si bien el costo por kWh depende de la tarifa de EPM, el hecho de que la flota eléctrica representa cerca del 60% del total implica que este proceso identifique la demanda contratada, los picos horarios y la necesidad de optimización tarifaria con el fin de reforzar la importancia de la gestión estratégica de recarga.

Las **entrevistas** permitieron complementar el análisis de datos con percepciones y comportamientos que no se reflejan en los registros de consumo. Algunos hallazgos fueron:

- La carga de los buses eléctricos suele realizarse de manera simultánea para varios buses, generando picos de demanda innecesarios
- Se reportaron buses que requieren ciclos de carga más largos debido a la degradación de baterías lo que incrementa el consumo
- Se identificó que las luminarias de talleres y patios permanecen encendidas aún en momentos sin actividad
- Los operarios señalaron zonas con mucha iluminación, indicando oportunidad de control automático
- El personal reportó fugas de aire frecuentes en compresores, lo que incrementa los ciclos de operación

- ➢ Se encontró que algunas herramientas neumáticas permanecen conectadas incluso cuando no se usan
- ➢ La hidrolavadora no siempre se apaga entre vehículos, lo que prolonga tiempos de funcionamiento
- ➢ Los extractores permanecen funcionando más tiempo del necesario por falta de temporizadores

Estos hallazgos reforzaron el diagnóstico y permitieron identificar oportunidades de eficiencias más precisas y operativamente viables.

7.3 Identificación de oportunidades de mejora

Derivado del análisis y entrevistas al personal, se identificaron las siguientes oportunidades de mejora:

Flota eléctrica

- ❖ Programación de recarga en horas valle
- ❖ Implementación de software de gestión de energía para evitar picos simultáneos
- ❖ Evaluación de cargadores de mayor eficiencia

Iluminación (consumo instalaciones)

- ❖ Sustitución total por luminarias LED
- ❖ Instalación de sensores de movimiento
- ❖ Revisión de niveles lumínicos para evitar sobreconsumo

Procesos adicionales de mantenimiento

- ❖ Mantenimiento preventivo de motores eléctricos

- ❖ Sustitución de hidrolavadoras por equipos eficientes
- ❖ Corrección de fugas de aire
- ❖ Optimización del uso de cabina de pintura mediante programación y ventilación eficiente
- ❖ Capacitación en uso responsable de herramientas

7.4 Diseño del plan de eficiencia energética alineado con la ISO 5001

Este plan fue diseñado conforme a los lineamientos de la ISO 50001:2018, integrando los resultados del diagnóstico energético, su análisis y los hallazgos obtenidos mediante entrevistas, el cual tiene como estructura el ciclo PHVA, que permite garantizar la mejora continua en su desempeño energético y facilita las decisiones mediante datos, cuyas actividades de seguimiento son:

Planear

La organización adoptará una política energética que incluya compromisos de mejoramiento continuo del desempeño energético, disponibilidad de recurso para la gestión energética y reducción progresiva de consumo y emisiones indirectas.

La línea base corresponde a un consumo promedio mensual de 22.558 kWh/mes y para esto se definen indicadores clave para monitorear el comportamiento energético:

Tabla 2

Indicadores política energética

Objetivo	Indicador	Meta	Responsable
Reducir consumo energético total	kWh/mes	Reducción del 10% del consumo promedio mensual	Gerente de Mantenimiento Gerente de Operaciones
Optimizar recarga de	kWh/bus/mes y	Disminuir 5-10% los	Gerente de

buses eléctricos	costo por horario	picos tarifarios $COP/kWh	Operaciones Gerente de Mantenimiento
Reducir emisiones indirectas de CO2e	Ton CO2e/mes	Reducción de 3-5 Ton CO2e/año	Gerente de Operaciones
Mejorar eficiencia de iluminación	% avance del proyecto	Sustituir 100% luminarias LED	Analista de Infraestructura
Disminuir pérdidas en compresores	kWh/compresores	Corregir 100% fugas detectadas	Gerente de Mantenimiento
Fortalecer cultura energética	% participación en capacitaciones	80% del personal capacitado	Gerente de Talento Humano / Profesional Ambiental

Nota. Identificación de indicadores de eficiencia energética. Fuente: elaboración propia (2025)

El no cumplimiento del plan estratégico genera riesgos significativos para la organización en diversos ámbitos, entre los principales se encuentran:

Riesgos económicos

Incremento del costo mensual de energía, penalizaciones derivadas de picos de demanda en la recarga de buses eléctricos

Riesgos operativos

Disminución de la vida útil de baterías y equipos asociados a la flota eléctrica, mayor probabilidad de fallas en compresores, luminarias y equipos auxiliares, no estandarización de procedimientos y procesos

Riesgos ambientales

Aumento de emisiones indirectas de CO2e, mayor huella de carbono organizacionales (alcance 2), incumplimiento de metas internas y sectoriales en términos de sostenibilidad

Hacer

En esta fase se ejecuta el conjunto de acciones de mejora derivadas del diagnóstico, identificadas en el numeral 7.3, orientadas a optimizar el desempeño energético, donde se realizarán sustituciones tecnológicas, optimización de recarga y capacitaciones o sensibilizaciones al personal.

Verificar

Esta fase incluye el monitoreo y medición para garantizar el cumplimiento de los objetivos, donde se realizarán seguimientos mensuales por categoría, auditorías semestrales que permitan verificar el cumplimiento del plan estratégico, los resultados de dichas acciones y la identificación de desviaciones y oportunidades adicionales.

Actuar

En esta fase se ejecutan acciones para corregir desviaciones y reforzar oportunidades identificadas, mediante ajustes operativos y actualización de prioridades energéticas según lo medido y analizado mediante los indicadores, donde se evaluará si es necesario realizar ajustes de metas y se realizará retroalimentación al personal.

7.5 Validación de los resultados obtenidos

La validación de los resultados tiene como propósito verificar, mediante métodos cuantitativos y cualitativos, la efectividad de las acciones planteadas. Esta etapa permite determinar si los objetivos, metas e indicadores definidos durante la planificación fueron alcanzados.

La validación se desarrollará a través de los siguientes pasos:

1. Comparación con la línea base, contrastando los valores obtenidos posterior a las intervenciones con la base definida inicialmente

2. Validación de indicadores referentes al desempeño energético previo y posterior a las intervenciones. Esta validación será satisfactoria cuando los indicadores se mantengan dentro de los rangos definidos en las metas
3. Verificación de la reducción de emisiones indirectas (CO2e) mediante la reducción proporcional de Ton CO2e derivada de la disminución de kWh
4. Se emplearán instrumentos cualitativos para comprobar mejoras en prácticas operativas, como apagado de equipos, control de iluminación, uso eficiente de herramientas.

8. Resultados y análisis de resultados

El comportamiento energético evidenciado en el periodo analizado muestra un sistema cuya demanda eléctrica está fuertemente condicionada por actividades propias de la operación masiva de transporte de pasajeros y por la creciente electrificación de la flota. Más allá de los valores específicos de cada proceso, el análisis permite identificar tres patrones estructurales que determinan la dinámica energética de la organización.

En **primer lugar**, se observa que el consumo responde a procesos continuos, más que a operaciones puntuales. Esto se refleja en la alta contribución de los buses eléctricos y el consumo de las instalaciones, ambos sistemas que mantienen funcionamiento extendido y dependen directamente de la disponibilidad operativa. Esta característica implica que, aunque existan optimizaciones tecnológicas, la reducción del consumo sólo será significativa si se intervienen horarios, modos de operación y sincronización de actividades.

En **segundo lugar,** el análisis revela la presencia de ineficiencias operativas acumuladas, las cuales, si bien individualmente no representan grandes consumos, de manera conjunta influyen en la estabilidad del sistema energético. Entre estas se destacan el uso prolongado de equipos sin ser requeridos, la falta de automatización en zonas de trabajo y malas

prácticas del personal. Este patrón muestra la necesidad de abordar la eficiencia desde la gestión del conocimiento y no únicamente desde la implementación de tecnología.

Un **tercer patrón** corresponde a la sensibilidad del consumo eléctrico frente a la programación operacional, especialmente en actividades nocturnas. La evidencia obtenida en entrevistas y observación sugiere que los tiempos de operación de talleres y las actividades dependen de la coordinación entre áreas. Esto posiciona la gestión energética como un asunto transversal, que requiere articulación entre los diferentes procesos de la organización.

A nivel estratégico, el análisis indica que la empresa cuenta con potencial significativo de reducción del consumo, siempre que se prioricen intervenciones en procesos de larga duración o alto tiempo en operación. La predominancia del consumo en los buses eléctricos también abre oportunidades de aplicar herramientas de optimización tarifaria, gestión de demanda y control de carga inteligente, aspectos que aportan no solo a la eficiencia energética, sino también a la disminución de costos y emisiones indirectas.

Finalmente, el análisis general evidencia que la organización se encuentra en una posición propicia para avanzar hacia una implementación exitosa de un Sistema de Gestión de la Energía con enfoque en la norma ISO 50001, dado que ya existe una línea base definida, procesos críticos identificados y datos sectorizados que permiten establecer indicadores de desempeño preventivo, basado en medición continua, automatización progresiva y toma de decisiones fundamentada en datos.

9. Propuesta de mejora

La propuesta de mejora se concibe como un conjunto de líneas de acción que trascienden el alcance del presente estudio y que permiten que la organización fortalezca su desempeño energético a mediano y largo plazo. Así mismo, estas propuestas abren la puerta a nuevas investigaciones que complementen o profundicen los resultados obtenidos, favoreciendo la continuidad de este tema dentro del sector del transporte masivo.

Esta propuesta de mejora planteada no corresponde a las acciones identificadas en el diagnóstico, sino a iniciativas de mayor alcance. Entre las propuestas están:

- ➔ Implementación de un Sistema de Medición Avanzado donde se automatice la captura de datos mediante plataformas SCADA o IoT y se visualice consumos en tiempo real
- ➔ Evaluar la alternativa de implementar proyectos de energías renovables, permitiendo diversificar la energía consumida y requerida, como es el caso de energía solar fotovoltaica en cubiertas del patio o zonas de mantenimiento.
- ➔ Desarrollo de un modelo predictivo del comportamiento energético con el fin de que la organización implemente herramientas de analítica avanzada, tales como modelos de predicción del consumo energético por bus según la ruta, demanda o congestión.

10. Conclusiones

El análisis realizado permitió caracterizar de manera integral el comportamiento energético de la organización de transporte masivo de pasajeros, estableciendo una línea base clara y evidenciando los procesos de mayor impacto dentro de la operación. La información recopilada, sumada a las entrevistas y observaciones en campo, permitió comprender no sólo los consumos medidos, sino también los factores operativos y organizacionales que pueden tener influencia en los resultados de consumo energético de la empresa.

Primeramente, se determinó que el consumo promedio mensual es de 22.558 kWh, siendo los buses eléctricos el principal componente del uso energético, con una participación del 58,90%. Este hallazgo confirma la importancia de tener una adecuada estructura energética en la organización y la necesidad de fortalecer estrategias de programación, control y seguimiento de los procesos de carga. El consumo de las instalaciones (uso de luminarias y carga de equipos administrativos), con más del 26% del consumo, se posiciona como la segunda área prioritaria debido a su operación extendida y a la falta de automatización en diversas zonas.

El estudio afirma que la eficiencia energética depende tanto de las condiciones técnicas como de la gestión operativa y la cultura organizacional, por lo que los procesos de capacitación y estandarización serán determinantes para mejorar el desempeño energético.

Así mismo, los resultados obtenidos evidencian la necesidad de avanzar hacia sistemas de medición y monitoreo más precisos, que permitan análisis de mayor resolución y soporten decisiones estratégicas en materia energética. La línea base desarrollada constituye un insumo fundamental para futuros estudios relacionados con la optimización de la operación eléctrica, una disminución de emisiones indirectas y una apropiación con tecnologías renovables.

Desde la perspectiva de sostenibilidad, el estudio aporta directamente al cumplimiento del ODS 7 que consiste en Energía asequible y no contaminante al identificar oportunidades

de mejora en el uso eficiente de la energía, reducir consumos innecesarios y orientar la modernización tecnológica de los procesos. De igual manera, se contribuye al ODS 13 que es Acción por el clima, debido a la cuantificación de emisiones indirectas asociadas al consumo energético, se evidencia los procesos con mayor impacto climático y se proponen acciones que permitan disminuir la huella de carbono de la operación. Con ello, se avanza hacia una gestión energética más sostenible, con tecnologías más limpias, eficientes y resilientes frente al cambio climático, alineada con los compromisos ambientales regionales y globales.

Referencias

Alcaldía de Medellín. (2021). *Plan de Acción Climática Medellín 2020–2050*. PAC. https://www.medellin.gov.co/es/wp-content/uploads/2024/03/PAC_Medellin_Libro_Digital.pdf

AMVA. (2022). *Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá*. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/paginas/gestion-integral/pigeca.aspx

Arroliga Galeano, S. E., & Betanco, J. A. (2021). Eficiencia energética: una tarea para las universidades. *Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano*, *01*(10), 166-177. Dialnet-Eficiencia Energética-8845403%20(1).pdf

ASE. (2022, octubre 01). *Guía de implementación de Sistemas de Gestión de Energía basados en ISO 50001:2018*. Agencia de Sostenibilidad Energética. https://www.agenciase.org/wp-content/uploads/2022/11/SISTEMA_ISO_50001_2022.pd

Bedoya, J., & Martinez, E. (2009). Calidad del aire en el Valle de Aburrá Antioquia Colombia.*DYNA*,*72*(158),7-15.http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532009000200001&lng=en&tlng=es.

BMC. (2021). *Transporte e industria, los sectores que tienen mayor nivel de ineficiencia energética*. Obtenido de Bolsa Mercantil de Colombia :https://www.bmcbec.com.co/publicaciones/posts/noticias/noticias/transporte-e-industria-los-sectores-que-tienen-mayor-nivel-de

CEMEFI.(2025,abril 12). *Eficiencia energética*. Ficha de Indicador. https://www.cemefi.org/wp-content/uploads/2025/04/12-Eficiencia-energetica-1.pdf

Congreso de Colombia. (2001, octubre 03). *Ley 697 de 2001*. Gestor Normativo. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4449

Congreso de Colombia. (2021, julio 10). *Ley 2099 de 2021*. Gestor Normativo. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326

ESSS. (2023, febrero 27). *Sistema de gestión de energía (SGE): concepto, normas y cómo*

implementarlo.IndustriayGeneraciónde Energía. https://www.esss.com/es/blog/sistema-de-gestion-de-energia/

Flores Díaz, L., & Jáuregui Nares, I. (2020). *Guía de implementación e interpretación de requisitos del estándar ISO 50001:2018*. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/SGEn/manuales/Guia_ISO_50001_2018_paginas_web1.pdf

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 50001:2018 Energy management systems — Requirements with guidance for use*. ISO. https://www.iso.org/standard/69426.html

Lajunen, A., & Lipman, T. (2016). Lifecycle cost assessment and carbon dioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses. *Energy*, *106*(1), 329-424. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.075

Ministerio de Minas y Energía. (2022, julio 01). *Eficiencia energética en vehículos livianosnuevos*.AnálisisdeImpactoNormativo. https://www.minenergia.gov.co/documents/8437/Problema_y_antecedentes_AIN_EE_Veh%C3%ADculos_Livianos.pdf.

Ministerio de Minas y Energía. (2023). *Diagnóstico base para la Transición Energética Justa*.ColombiaPotenciadelaVida. https://www.minenergia.gov.co/documents/10439/2._Diagn%C3%B3stico_base_para_la_TEJ.pdf

Ministerio de Minas y Energía. (2024, diciembre 01). *Metodología general estrategia nacional de comunidades energéticas*. Comunidades Energéticas. https://www.minenergia.gov.co/documents/13312/Metodologia-General-Estrategia-Nacio nal-Comunidades-Energeticas-2024.pdf

NQA. (2018). *Guía de Implantación del Sistema de Gestión de la Energía*. ISO 50001:2018. https://www.nqa.com/medialibraries/NQA/NQA-MediaLibrary/PDFs/Spanish%20QRFs%20and%20PDFs/NQA-ISO-50001-Guia-de-implantacion.pdf

Pojani, D., & Stead, D. (2015). Sustainable Urban Transport in the Developing World: Beyond Megacities. *Sustainability [Transporte urbano sostenible en un mundo en desarrollo: más allá de las megaciudades]*, *7*(6),77-84.https://doi.org/10.3390/su7067784

Presidencia de Colombia. (2015, noviembre 04). *Decreto 2143 de 2015*. Gestor Normativo. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=64682

Serna, B. (2014, diciembre 10). *Identificando Oportunidades de Eficiencia Energética en Medellín.* TRACE. https://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/DocumentLibrary/TRACE_Colombia_Medellin_Optimized.pdf

Toscano, J., Cabellos, M., & Martínez, A. (2023). *Eficiencia energética aplicando la norma ISO 50001:2018, como alternativa de optimización de procesos cambiando los modelos de producción, casos de estudio en Colombia*. Obtenido del Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI. https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/3016

UPME. (2025, mayo 01). *Plan Energético Nacional 2024-2054*. Unidad de Planeación Minero-Energética. https://docs.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2024_2054/PDF2_PE_Eficiencia_Energetica_Publicacion_Tomo_I.pdf

Vanegas Lopez, J. G., & Botero Botero, S. (2012). Eficiencia energética en microempresas de Medellín: un estudio de valoración de barreras. *Lecturas de Economía*, (77), 129-161. https://www.redalyc.org/pdf/1552/155226077005.pd

Anexos

Anexo A

Consumo kWh

CONSOLIDADO CONSUMOS ENERGIA													
PERIODO	TOTAL ENERGIA EPM	CABINA PINTURA	%	LAVADO DE BUSES	%	COMPRESORES	%	AIRE ACONDICIONADO	%	INSTALACIONES	%	BUSES ELÉCTRICOS	%
1 DE JULIO - 31 DE JULIO	21.141	1.065	5,04%	288	1,36%	2.248	10,64%	791	3,74%	5.871	27,77%	13.394	63,36%
1 DE AGOSTO - 31 DE AGOSTO	22.801	1.549	6,79%	253	1,11%	2.168	9,51%	709	3,11%	5.910	25,92%	13.360	58,60%
1 DE SEPTIEMBRE - 30 DE SEPTIEMBRE	21.128	1.283	6,07%	301	1,42%	2.361	11,17%	573	2,71%	5.612	26,56%	12.404	58,71%
1 DE OCTUBRE - 31 DE OCTUBRE	25.163	1.005	3,99%	317	1,26%	3.172	12,60%	456	1,81%	6.296	25,02%	13.826	54,94%
PROMEDIO	22.558	1.225	5,47%	290	1,29%	2.487	10,98%	632	2,84%	5.922	26,32%	13.246	58,90%

Anexo B

Emisiones CO_2

				Factores de emisión			Emisiones	
Alcance	Fuente de emisión	Periodo	Consumo mensual (MWh)	Factor emisión CO2	Unidades Factor de Emisión	CO2 Ton	Ton CO2eq	kg CO2eq
2 Emisiones Indirectas	Energía eléctrica	Promedio jul-oct 2025	22,56	0,177	Ton CO2eq/MWh	3,99	3,993	3.992,766
	Sub total Energía		22,558			**3,99**	**3,993**	**3.992,766**