

Optimización de la Distribución Eléctrica en Valledupar



Reducción de pérdidas de energía en el sistema de distribución eléctrica de Valledupar

Jose David Arquez FLopez

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

octubre de 2024

Optimización de la Distribución Eléctrica en Valledupar

Reducción de Pérdidas de Energía en el Sistema de Distribución Eléctrica de Valledupar

Jose David Arquez Florez

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de
Proyectos

Asesora

Doris Amanda Rosero García

Microbióloga, M.Sc., PhD.

Posdoctorado en Microbiología Ambiental

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

octubre de 2024

Contenido

Lista de tablas..... 5

Lista de figuras 6

Resumen 7

Abstract 8

Introducción..... 9

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 10

 1.1 Descripción del problema 10

 1.2 La pregunta de investigación 11

 1.3 Los objetivos de investigación..... 11

 1.3.1 Objetivo general 11

 1.3.2 Objetivos específicos 11

 1.4 Justificación de la investigación..... 12

2. MARCO DE REFERENCIA..... 13

 2.1. Marco de Antecedentes..... 13

 2.2. Marco Teórico 14

 2.2.1. Las pérdidas de energía eléctrica 14

 2.3. Marco normativo 16

3. METODOLOGÍA..... 18

 3.1. Enfoque y alcance de la investigación 18

 3.2. Población y muestra 19

 3.2.1. Definición de la población..... 19

 3.2.2. Cálculo y selección de la muestra..... 20

 3.3. Instrumento(s)..... 21

 3.3.1. Recolección de Datos..... 22

 3.3.2. Procesos de Limpieza y Preparación de los Datos..... 23

 3.4. Análisis de información..... 24

 3.4.1. Selección del Software 24

 3.4.2. Codificación de los Datos 24

Optimización de la Distribución Eléctrica en Valledupar

3.4.3.	Análisis de Datos.....	26
3.5.	Consideraciones éticas.....	27
3.5.1.	Análisis de consideraciones éticas.....	27
3.5.2.	Instrumentos de aceptación y autorización.....	28
4.	RESULTADOS	29
5.	DISCUSIÓN.....	35
5.2.	Comparaciones con otros estudios	36
5.3.	Relación entre el crecimiento demográfico y las pérdidas de energía.....	38
5.4.	Impacto de las pérdidas de energía en la calidad del servicio eléctrico.....	38
6.	CONCLUSIONES	41
7.	RECOMENDACIONES.....	42
	REFERENCIAS.....	44

Lista de tablas

Tabla 1. Datos de Energía y Pérdidas en Valledupar (2021-2024) 29

Lista de figuras

Figura 1. Evolución de las Pérdidas Estructurales (GWh) de 2021 a 2024 30
Figura 2. Porcentaje de Pérdidas Reales Estructurales (%) de 2021 a 2024..... 31

Resumen

El presente trabajo aborda la problemática de las pérdidas energéticas en el sistema de distribución eléctrica de Valledupar, operado por AFINIA. Las pérdidas, tanto técnicas como no técnicas, representan un reto significativo para la sostenibilidad económica y ambiental de la región. El aumento de estas pérdidas en los últimos años ha afectado la calidad del servicio y el desarrollo económico local. El estudio busca identificar áreas críticas, proponer soluciones técnicas para reducir las pérdidas, y desarrollar estrategias de inversión que promuevan la eficiencia energética y la sostenibilidad financiera de la empresa.

Palabras clave: Pérdidas energéticas, distribución eléctrica, eficiencia energética, inversión sostenible, sostenibilidad ambiental

Abstract

This study addresses the issue of energy losses in the electricity distribution system in Valledupar, operated by AFINIA. Both technical and non-technical losses present a significant challenge to the economic and environmental sustainability of the region. The increase in these losses over recent years has negatively impacted service quality and local economic growth. The study aims to identify critical areas, propose technical solutions to reduce losses, and develop investment strategies that promote energy efficiency and the company's financial sustainability.

Keywords: Energy losses, electrical distribution, Valledupar, energy efficiency, sustainable investment, environmental sustainability.

Introducción

El sistema de distribución eléctrica en Valledupar enfrenta un desafío significativo debido a las pérdidas energéticas, tanto técnicas como no técnicas. Este fenómeno ha afectado la eficiencia operativa, la calidad del servicio y la sostenibilidad financiera de las empresas involucradas. El problema de investigación surge a partir del incremento constante de estas pérdidas, alcanzando el 43.72% en mayo de 2024 (CREG, 2021). La pregunta principal que orienta este estudio es: ¿Cuáles son los factores que contribuyen a las pérdidas energéticas en el sistema de distribución de Valledupar y qué soluciones pueden implementarse para reducirlas?

La investigación tiene como objetivos analizar el comportamiento de las pérdidas, identificar las causas subyacentes y proponer recomendaciones para mejorar la eficiencia. Se justifica porque las pérdidas generan impactos económicos, reducen la calidad del servicio y afectan la sostenibilidad ambiental. Según OLADE (2023), reportaron que las pérdidas energéticas son un problema común en países en desarrollo, agravado por infraestructura obsoleta y prácticas fraudulentas. Se analizaron datos proporcionados por la empresa Afinia entre 2021 y 2024 mediante un enfoque cuantitativo, utilizando herramientas de análisis estadístico y proyecciones.

Los resultados muestran un aumento sostenido en las pérdidas, principalmente por falta de modernización de la red y hurto de energía. En las conclusiones, se destaca la necesidad urgente de inversiones en infraestructura y la adopción de tecnologías inteligentes para reducir las pérdidas técnicas y no técnicas, mejorando así la eficiencia del sistema.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Las pérdidas de energía eléctrica en el sistema de distribución de Valledupar representan un problema relevante tanto a nivel local como global. A nivel internacional, las pérdidas de energía son un desafío común en países en desarrollo, donde los sistemas de distribución sufren pérdidas tanto técnicas como no técnicas. En América Latina, las pérdidas energéticas oscilan entre el 10% y el 25%, afectando la eficiencia y sostenibilidad del sistema (OLADE, 2023). En Colombia, la región Caribe, donde se encuentra Valledupar, presenta algunas de las tasas más altas de pérdidas energéticas del país, lo que compromete la calidad del servicio y la sostenibilidad económica y ambiental de la región (UPME, 2022).

En Valledupar, las empresas Afinia e Ingeomega enfrentan pérdidas energéticas significativas, alcanzando el 28.29% en 2021, un incremento respecto a años anteriores (Afinia, 2021). Este aumento de pérdidas compromete la calidad del servicio eléctrico y pone en riesgo la sostenibilidad financiera y ambiental de la región.

Las causas de las pérdidas de energía en Valledupar son multifactoriales. Las pérdidas técnicas provienen de una infraestructura obsoleta y sobrecargada, con redes de distribución que no están optimizadas para minimizar las pérdidas. Además, las pérdidas no técnicas, como el hurto de energía y la manipulación de medidores, contribuyen de manera significativa al problema, especialmente en sectores de bajos ingresos (Afinia, 2021). La falta de inversión en tecnologías de monitoreo y optimización agrava la situación.

Las consecuencias de estas pérdidas afectan tanto a las empresas como a la comunidad. Las empresas enfrentan mayores costos operativos y una disminución de ingresos, lo que limita su capacidad para invertir en mejoras. La comunidad sufre una disminución en la calidad del servicio eléctrico, con cortes frecuentes y baja calidad en el suministro. Además, las pérdidas de energía incrementan el uso de recursos naturales, elevando las emisiones de gases de efecto invernadero y afectando la sostenibilidad ambiental.

1.2 La pregunta de investigación

¿Cuál es el comportamiento de las pérdidas de energía eléctrica en el sistema de distribución en Valledupar, y qué recomendaciones generales pueden proponerse para mejorar la eficiencia y reducir dichas pérdidas?

1.3 Los objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo general

Analizar el comportamiento de las pérdidas de energía eléctrica en el sistema de distribución de Valledupar, con el fin de identificar factores contribuyentes y proponer recomendaciones generales para mejorar la eficiencia y reducir dichas pérdidas.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Describir la situación actual de las pérdidas de energía eléctrica en el sistema de distribución en Valledupar, identificando los principales factores técnicos y no técnicos que contribuyen a dichas pérdidas.

2. Examinar las tendencias y patrones de las pérdidas de energía eléctrica en Valledupar, evaluando su impacto en la eficiencia operativa y la calidad del servicio.
3. Proponer recomendaciones generales para mejorar la eficiencia del sistema de distribución eléctrica y reducir las pérdidas energéticas en Valledupar, basándose en el análisis realizado.

1.4 Justificación de la investigación

Las pérdidas de energía eléctrica en el sistema de distribución de Valledupar representan un desafío significativo que afecta la eficiencia operativa y la calidad del servicio eléctrico en la región. Estas pérdidas generan impactos económicos para la empresa distribuidor de energía eléctrica (Afinia) y perjudican a los usuarios finales mediante un suministro menos confiable y de menor calidad. Además, incrementan el consumo de recursos naturales y las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo al cambio climático y afectando la sostenibilidad ambiental (IDEAM, 2018).

Es esencial comprender el comportamiento de estas pérdidas para identificar los factores técnicos y no técnicos que las causan y desarrollar estrategias efectivas para su reducción. Esta investigación proporcionará un análisis detallado de las pérdidas energéticas, identificará tendencias y patrones, y ofrecerá recomendaciones prácticas basadas en el análisis de resultados (UPME, 2019).

Este estudio aborda una problemática de gran relevancia económica, social y ambiental, ofreciendo herramientas para la toma de decisiones informadas que mejoren la eficiencia del sistema de distribución eléctrica en Valledupar. Asimismo, la reducción de pérdidas contribuirá a

la sostenibilidad ambiental de la región al promover un uso más eficiente de los recursos energéticos y disminuir las emisiones contaminantes (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Marco de Antecedentes

El problema de las pérdidas de energía en sistemas de distribución eléctrica ha sido ampliamente estudiado, especialmente en el contexto de países en desarrollo, donde los desafíos relacionados con infraestructura obsoleta y prácticas de gestión ineficientes son más comunes. Estas pérdidas afectan significativamente la sostenibilidad económica y ambiental de las empresas distribuidoras y repercuten en la calidad del servicio que reciben los usuarios finales.

Un estudio de (González & Pérez, 2020) analiza los factores que contribuyen a las altas pérdidas energéticas en países latinoamericanos. Los autores identifican que la falta de modernización en la infraestructura eléctrica es una de las principales causas de ineficiencias, con pérdidas que pueden alcanzar entre el 20% y el 30% de la energía distribuida. Su investigación concluye que los sistemas eléctricos en la región requieren inversiones sustanciales en tecnologías avanzadas para reducir las pérdidas técnicas y mejorar la eficiencia operativa.

Por su parte, (Martínez & Gómez, 2019), llevaron a cabo un estudio enfocado en el impacto de las redes inteligentes en la reducción de pérdidas Colombia. Este estudio demuestra que la implementación de tecnologías de monitoreo en tiempo real, como medidores inteligentes, ha sido efectiva para disminuir en un 30% las pérdidas no técnicas. Los autores sugieren que estas

tecnologías pueden desempeñar un papel crucial en mejorar la eficiencia operativa de las empresas distribuidoras en áreas con alta incidencia de hurto de energía y manipulación de medidores.

Finalmente, (López & Ramírez, 2019) abordan las pérdidas energéticas en Colombia, resaltando la relación entre el nivel socioeconómico de la población y las pérdidas no técnicas. En su estudio, identifican que los sectores con menor acceso a recursos presentan tasas más altas de conexiones ilegales y manipulación de medidores, lo que afecta la sostenibilidad del sistema. Este trabajo destaca la necesidad de un enfoque integral que combine sanciones con programas comunitarios y educativos para fomentar el uso responsable de la energía.

Estas investigaciones proporcionan un contexto relevante para entender los desafíos que enfrenta el sistema de distribución en Valledupar, ya que comparten similitudes en términos de infraestructura antigua, falta de inversión y factores socioeconómicos. La evidencia de estos estudios sugiere que, además de mejorar la infraestructura, es clave adoptar tecnologías inteligentes y fomentar programas educativos para reducir tanto las pérdidas técnicas como no técnicas, promoviendo así la sostenibilidad del sistema.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Las pérdidas de energía eléctrica

Las pérdidas de energía en los sistemas de distribución eléctrica se dividen en pérdidas técnicas y pérdidas no técnicas, siendo ambas un desafío importante para la eficiencia operativa de las empresas distribuidoras. Las pérdidas técnicas son aquellas que ocurren de forma natural

debido a fenómenos físicos, como la resistencia en los conductores y la disipación de energía en forma de calor (González Torres, 2019). Estos factores afectan principalmente los equipos como transformadores y líneas de transmisión, reduciendo la eficiencia del sistema eléctrico. Las pérdidas no técnicas son causadas por factores externos, como el hurto de energía, conexiones ilegales y errores en los procesos de facturación. Estas pérdidas no están asociadas a problemas físicos del sistema, sino a la manipulación indebida de los componentes del sistema eléctrico o a problemas en la gestión de este.

2.2.2. Las pérdidas técnicas de energía eléctrica

Las pérdidas técnicas están relacionadas con las características físicas del sistema eléctrico. Entre los principales factores que las originan se encuentran el efecto Joule, que causa que la energía se disipe en forma de calor debido a la resistencia en los conductores, y las pérdidas en los transformadores, que se derivan de las corrientes parásitas y la histéresis en los núcleos magnéticos.

Las pérdidas técnicas representan un porcentaje significativo de la energía total distribuida, especialmente en sistemas eléctricos que no han sido modernizados (Cañari Dias & Bacon Villanueva, 2023). La instalación de transformadores más eficientes y la mejora de la infraestructura son medidas esenciales para reducir estas pérdidas. Además, el envejecimiento de los equipos y la sobrecarga de las líneas de transmisión también agravan este problema.

2.2.3. Pérdidas no técnicas de energía eléctrica

Pérdidas no técnicas, también conocidas como pérdidas comerciales, son aquellas que no están relacionadas con el sistema físico, sino con acciones externas que afectan la medición y el

cobro de la energía consumida. Estas incluyen el robo de electricidad, la manipulación de medidores y los errores en la facturación. En muchas ocasiones, las pérdidas no técnicas pueden representar hasta un 30% de la energía distribuida, generando un impacto económico considerable en las empresas distribuidoras (Cabrera Brito & Pedro Francisco, 2016).

2.3. Marco normativo

El sector eléctrico en Colombia se rige por un conjunto de leyes, decretos y resoluciones que establecen los lineamientos para la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía. Estas normativas buscan no solo la eficiencia y calidad del servicio, sino también la reducción de pérdidas energéticas y el respeto a los estándares ambientales.

La Ley 142 de 1994 establece el marco general para la prestación de servicios públicos en Colombia, incluyendo la energía eléctrica. Promueve la eficiencia, la calidad y la participación del sector privado, garantizando derechos y deberes para asegurar un servicio regulado y confiable, aplicable a empresas como Afinia en Valledupar (Congreso de Colombia, 1994).

Por su parte, la Ley 143 de 1994 regula específicamente las actividades de generación, transmisión y distribución, definiendo principios de competencia y estándares para el mercado eléctrico. Esta ley es fundamental para la reducción de pérdidas técnicas y no técnicas, una obligación directa para empresas distribuidoras en su búsqueda de sostenibilidad (Congreso de Colombia, 1994).

2.3.1. Regulaciones Específicas sobre Pérdidas de Energía

La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) ha emitido resoluciones enfocadas en la reducción de pérdidas. La Resolución CREG 015 de 2018 establece una metodología para reconocer pérdidas en los sistemas de distribución, incentivando a las empresas a adoptar prácticas que mejoren la eficiencia (CREG, 2018). La Resolución CREG 025 de 2021 actualiza estos parámetros y fija metas de reducción, con incentivos económicos para quienes logren bajar las pérdidas más allá de los niveles definidos. Para Afinia, estas resoluciones son esenciales, ya que le permiten optimizar su desempeño en la red de distribución de Valledupar (CREG, 2021).

Estas resoluciones son particularmente relevantes para el presente estudio, ya que proporcionan el marco regulatorio que rige la operación de Afinia y la obligación de reducir las pérdidas tanto técnicas como no técnicas.

2.3.2. Regulación Ambiental

Las empresas del sector eléctrico deben cumplir con normativas ambientales que minimicen los impactos de sus actividades. La Ley 99 de 1993 crea el Ministerio del Medio Ambiente y establece requisitos de gestión ambiental aplicables a proyectos del sector, asegurando que la modernización en distribución se realice de forma sostenible (Congreso de Colombia, 1993).

El Decreto 1076 de 2015 compila los procedimientos para evaluar impactos y otorgar licencias ambientales, asegurando que Afinia cumpla con los requisitos ambientales en cualquier proyecto de infraestructura en Valledupar (Presidencia de la República, 2015).

3. METODOLOGÍA

3.1. Enfoque y alcance de la investigación

La presente investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo de alcance descriptivo y analítico. Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2016), el enfoque cuantitativo permite obtener resultados precisos y objetivos a través de la recolección y análisis de datos numéricos. Este enfoque es particularmente adecuado para investigaciones como la presente, que busca estudiar las pérdidas energéticas en el sistema de distribución eléctrica de Valledupar, ya que permite identificar y cuantificar estas pérdidas con exactitud, y además analizar su evolución a lo largo del tiempo.

El alcance descriptivo de esta investigación tiene como objetivo principal detallar las características actuales del sistema de distribución de energía eléctrica de Valledupar, con un énfasis en la cuantificación de las pérdidas técnicas y no técnicas. El análisis descriptivo permitirá comprender el comportamiento de las variables clave, como la energía de entrada, la energía vendida y las pérdidas energéticas. El alcance analítico de la investigación complementa el enfoque descriptivo mediante el análisis de patrones, tendencias y relaciones entre variables que afecten las pérdidas de energía. Esto facilitará no solo una evaluación del estado actual del sistema, sino también la identificación de las áreas más críticas y la formulación de estrategias para mejorar la eficiencia operativa y reducir las pérdidas.

Esta investigación se centra específicamente en las pérdidas de energía en el contexto de Valledupar, una región con características socioeconómicas y técnicas particulares, lo que permitirá adaptar los hallazgos a esta realidad local.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Definición de la población

La población objeto de estudio en esta investigación está constituida por los datos relacionados con el sistema de distribución eléctrica de Valledupar, el cual es operado por la empresa Afinia. Esta población incluye todos los registros disponibles que reflejan el comportamiento del sistema de distribución, tales como:

- **Energía de entrada al sistema de distribución (GWh):** Es el conjunto de datos que representa la cantidad de energía eléctrica que ingresa al sistema de distribución de Valledupar durante los diferentes periodos de estudio. Estos datos son fundamentales, ya que la energía de entrada es el punto de partida para calcular las pérdidas energéticas, permitiendo determinar la diferencia entre la energía que ingresa y la que finalmente es distribuida y facturada a los usuarios.
- **Energía vendida a usuarios regulados y no regulados (Venta base, GWh):** Este conjunto de datos refleja la cantidad de energía facturada a los usuarios finales, tanto regulados (hogares y pequeños negocios) como no regulados (grandes consumidores). La energía vendida es uno de los indicadores clave para medir la eficiencia del sistema, ya que la diferencia entre la energía de entrada y la energía vendida indica la magnitud de las pérdidas energéticas, sean estas de origen técnico o no técnico.
- **Pérdidas estructurales de energía (GWh):** Este conjunto de datos representa la cantidad de energía que se pierde dentro del sistema de distribución debido a ineficiencias técnicas, tales como la sobrecarga de las redes de transmisión, el

deterioro de los transformadores o la obsolescencia de las infraestructuras eléctricas.

Las pérdidas estructurales suelen ser inevitables en un sistema eléctrico, pero pueden reducirse mediante inversiones en tecnología y modernización de equipos.

- **Indicadores de pérdidas reales estructurales y móviles estructurales (%):** Estos indicadores muestran el porcentaje de pérdidas acumuladas en el sistema de distribución durante un periodo de tiempo determinado. El análisis de estos porcentajes es crucial para evaluar la eficiencia operativa del sistema, y la comparación entre periodos permite identificar tendencias de mejora o deterioro.

La elección de esta población está justificada por la relevancia de los datos en la evaluación de la eficiencia del sistema eléctrico, permitiendo un análisis exhaustivo de las pérdidas energéticas tanto técnicas como no técnicas.

3.2.2. Cálculo y selección de la muestra

Debido a la naturaleza del estudio y a la disponibilidad de datos completos y detallados proporcionados por la empresa Afinia, no se aplicó un muestreo probabilístico tradicional. En su lugar, se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, trabajando con la totalidad de los datos disponibles desde enero de 2021 hasta mayo de 2024. Este enfoque asegura que ningún dato relevante quede fuera del análisis y proporciona una base sólida para comprender el comportamiento del sistema de distribución de energía de Valledupar en su totalidad.

El uso de la totalidad de los datos disponibles permite un análisis detallado que abarca todos los aspectos del sistema, facilitando el análisis de tendencias, fluctuaciones y posibles causas de las pérdidas de energía.

Los criterios de inclusión para la selección de los datos son los siguientes:

- Datos correspondientes al sistema de distribución eléctrica de Valledupar operado por Afinia.
- Información registrada en los períodos comprendidos entre enero-febrero de 2021 y mayo de 2024.
- Datos relacionados con energía de entrada, venta base, pérdidas estructurales y porcentajes de pérdidas.

Los criterios de exclusión aplicados incluyen:

- Registros que presenten inconsistencias, como datos incompletos, que no permitan realizar un análisis fiable.
- Información relacionada con otros municipios o regiones fuera del área de influencia de Valledupar.

3.3. Instrumento(s)

Los datos utilizados en este estudio provienen de los registros internos de Afinia, que son recopilados mediante sistemas de monitoreo continuo del sistema de distribución eléctrica en la región de Valledupar. Estos sistemas proporcionan datos exactos y actualizados sobre la cantidad de energía distribuida, la cantidad de energía facturada y las pérdidas estructurales y no estructurales que ocurren en el sistema. Estos datos son de naturaleza cuantitativa, lo que facilita su análisis y permite establecer relaciones y patrones entre diferentes variables.

Afinia también realiza auditorías técnicas periódicas para validar y verificar la precisión de los datos recolectados. Para este estudio, los datos fueron proporcionados en formato digital, lo que permitió su fácil procesamiento y análisis utilizando herramientas informáticas especializadas. La validez y fiabilidad de los datos han sido confirmadas mediante la comparación de registros actuales con auditorías previas y la revisión de datos históricos.

Los datos recolectados se agrupan en las siguientes categorías:

- Energía de entrada (GWh)
- Venta base (GWh)
- Pérdidas estructurales (GWh)
- Real estructural (%) y real móvil estructural (%)

El uso de estos instrumentos garantiza que el análisis de las pérdidas de energía sea preciso y exhaustivo, cubriendo tanto los aspectos técnicos como los operativos del sistema de distribución. Descripción de procedimientos

3.3.1. Recolección de Datos

El proceso de recolección de datos en esta investigación se basó en los registros internos proporcionados por la empresa Afinia. Estos datos fueron recolectados mediante sistemas de monitoreo continuo que controlan las condiciones del sistema de distribución de energía en Valledupar. El periodo de estudio abarcó desde enero de 2021 hasta mayo de 2024, lo cual permitió contar con una muestra representativa que refleja las fluctuaciones y tendencias a lo largo del tiempo.

Los datos recolectados incluyeron variables clave como la energía de entrada al sistema de distribución, la energía vendida a usuarios regulados y no regulados, y las pérdidas estructurales. Estos datos fueron esenciales para medir la eficiencia del sistema y determinar las pérdidas energéticas. Además, la recolección de datos incluyó auditorías técnicas que garantizan la precisión de los registros, lo que permitió obtener un análisis detallado y confiable.

3.3.2. Procesos de Limpieza y Preparación de los Datos

En este proyecto, se implementaron varias etapas de limpieza de datos para asegurar que todos los valores fueran precisos y coherentes con las fuentes originales.

- Se realizó una verificación detallada de los datos recolectados, comparando los registros actuales con datos históricos para asegurar que coincidieran con los valores proporcionados por los sistemas de monitoreo.
- Se identificaron y eliminaron los datos que presentaban anomalías o inconsistencias, como fluctuaciones inusuales en las pérdidas energéticas. Para esta identificación se utilizaron criterios predefinidos que permitieron excluir datos que no reflejaban el comportamiento típico del sistema.
- Se normalizaron las fechas, unidades de medida y otras nomenclaturas para garantizar la coherencia en el análisis. Esto incluyó la conversión de todas las unidades a GWh y la uniformidad en el formato de las fechas (mes y año) para una correcta comparación entre periodos.

- Una vez verificados y limpiados, los datos fueron integrados en una base de datos unificada, lo que permitió un análisis detallado y exhaustivo de las tendencias y patrones de pérdidas energéticas.

3.4. Análisis de información

El procesamiento y análisis de la información recolectada se llevarán a cabo utilizando herramientas informáticas y técnicas estadísticas adecuadas al alcance del estudio.

3.4.1. Selección del Software

Se ha seleccionado Microsoft Excel como el software principal para el análisis de los datos debido a su flexibilidad y sus múltiples funciones estadísticas y gráficas. Excel permite organizar y analizar grandes volúmenes de datos, realizar análisis descriptivos, aplicar fórmulas para cálculos avanzados y generar gráficos que facilitan la visualización de los resultados. Su capacidad para crear tablas dinámicas, aplicar promedios móviles y realizar análisis de tendencias lo convierte en una herramienta adecuada para el tipo de estudio planteado.

3.4.2. Codificación de los Datos

Una vez finalizado el proceso de limpieza, los datos se organizaron y codificaron utilizando Microsoft Excel. La codificación se realizó de la siguiente manera:

- **Mes y Año:** Se clasificaron todos los registros según el mes y el año en que fueron recopilados. Esto permitió realizar un análisis cronológico y comparar los datos de manera coherente entre diferentes periodos.
- **Energía de entrada (GWh):** Los datos sobre la energía que ingresaba al sistema de distribución se organizaron de manera secuencial para cada mes del periodo de estudio, permitiendo observar variaciones en la cantidad de energía manejada por el sistema.
- **Venta base (GWh):** La energía vendida a usuarios regulados y no regulados se codificó separadamente, permitiendo identificar la demanda energética en diferentes segmentos de la población y evaluar la eficiencia del sistema en la venta de energía.
- **Pérdidas estructurales (GWh):** Los registros sobre las pérdidas de energía estructurales se organizaron según la cantidad de energía perdida en cada periodo. Estos datos fueron cruciales para identificar las causas subyacentes de las ineficiencias en el sistema de distribución.
- **Real estructural y real móvil estructural (%):** Estos indicadores se utilizaron para medir el porcentaje de pérdidas acumuladas en el sistema y calcular promedios móviles que suavizaran las fluctuaciones de corto plazo, revelando tendencias subyacentes en las pérdidas de energía.

La codificación de los datos incluyó también la creación de tablas dinámicas y bases de datos que permitieron aplicar filtros y realizar consultas específicas para evaluar diferentes variables y su impacto en las pérdidas de energía. Este proceso facilitó la creación de escenarios hipotéticos y la comparación de distintos periodos de tiempo.

3.4.3. Análisis de Datos

Para el análisis de los datos recolectados, se aplicaron diferentes técnicas estadísticas y herramientas de análisis que permitieron desglosar los datos y generar conclusiones precisas sobre las pérdidas energéticas en el sistema de distribución de Valledupar. Las principales técnicas empleadas fueron:

- **Cálculo de porcentajes:** Se calcularon los porcentajes de pérdidas energéticas en relación con la energía de entrada al sistema, lo que permitió evaluar la magnitud de las pérdidas estructurales y no estructurales. Este cálculo facilitó la identificación de patrones a lo largo del tiempo, como aumentos o reducciones en las pérdidas.
- **Análisis de tendencias:** se realizó un análisis de series temporales para identificar patrones de largo plazo. Este análisis permitió observar la evolución de las pérdidas de energía a lo largo del periodo de estudio (enero 2021 - mayo 2024), facilitando la identificación de periodos de mayor o menor eficiencia en la distribución.
- **Promedio móvil:** Se aplicó un promedio móvil para suavizar las fluctuaciones de corto plazo en los indicadores de pérdidas energéticas. Esta técnica permitió eliminar el "ruido" causado por variaciones puntuales en los datos y resaltar las tendencias subyacentes, lo que contribuyó a una mejor interpretación de los resultados.
- **Representaciones gráficas:** Se utilizaron gráficos de líneas, barras y áreas para visualizar los datos y facilitar la interpretación de las tendencias y patrones observados en el comportamiento de las pérdidas energéticas. Los gráficos permitieron una visualización clara de la evolución de la energía de entrada, las ventas base y las pérdidas estructurales.

3.5. Consideraciones éticas

La investigación fue realizada cumpliendo con las normativas éticas establecidas por la Corporación Universitaria Minuto de Dios y las directrices internacionales para la recolección y manejo de datos. Aunque los datos utilizados en esta investigación no incluyeron información personal de usuarios finales, se tomaron todas las precauciones necesarias para garantizar la confidencialidad de la información proporcionada por la empresa Afinia.

El uso de los datos se limitó exclusivamente a fines académicos, y en ningún momento se comprometió la privacidad de los usuarios o de la empresa. Además, se garantizaron medidas estrictas para el manejo responsable de los datos y se respetaron los principios de transparencia y confidencialidad en todo el proceso de recolección, análisis y presentación de los resultados.

3.5.1. Análisis de consideraciones éticas

La investigación siguió las pautas éticas establecidas por la institución académica y la normativa vigente en relación con el manejo de información sensible y datos privados. Aunque los datos utilizados no incluían información personal de los usuarios de energía, se implementaron estrictas medidas para asegurar que la información proporcionada por Afinia fuera tratada de manera responsable y utilizada exclusivamente para los fines establecidos en este proyecto.

La confidencialidad de los datos se garantizó en todas las etapas de la investigación. Los datos fueron anonimizados y se aplicaron medidas de seguridad digital para proteger los archivos y registros utilizados en el estudio. Además, se realizó un análisis ético de los posibles impactos

que la divulgación de los resultados podría tener en la empresa y en la comunidad, asegurando que ninguna parte fuera perjudicada.

3.5.2. Instrumentos de aceptación y autorización

Dado que no se recolectaron datos personales de usuarios finales ni se realizaron encuestas o entrevistas a individuos, no fue necesario obtener un consentimiento informado individual. No obstante, la empresa Afinia autorizó formalmente el uso de sus registros internos para los fines de este estudio, asegurando el cumplimiento de las normativas vigentes en materia de protección de datos y confidencialidad. Esta autorización garantizó que los datos fueran utilizados de manera responsable y que la investigación se llevara a cabo en conformidad con los principios éticos establecidos.

4. RESULTADOS

4.1. Estado actual del sistema de distribución eléctrica en Valledupar

Uno de los primeros hallazgos importantes en este estudio es la magnitud y tendencia de las pérdidas de energía en el sistema de distribución de Valledupar, operado por la empresa AFINIA. Durante el periodo de estudio, las pérdidas estructurales de energía han seguido una tendencia ascendente, lo que evidencia la persistencia de ineficiencias en la infraestructura de distribución. Estas pérdidas se observan tanto en el incremento absoluto de las pérdidas energéticas en términos de GWh como en el porcentaje de pérdidas acumuladas sobre la energía total de entrada.

En la Tabla 1 se resumen los principales resultados obtenidos durante el periodo 2021-2024:

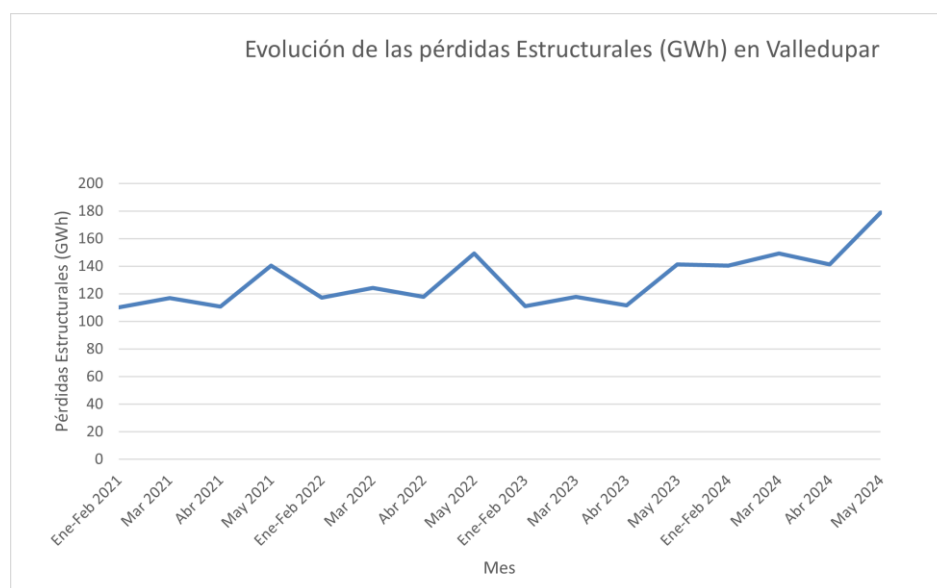
Tabla 1. Datos de Energía y Pérdidas en Valledupar (2021-2024)

Mes	Energía de Entrada (GWh)	Venta Base (GWh)	Pérdidas Estructurales (GWh)	Real Estructural (%)	Real Móvil Estructural (%)
Ene-Feb 2021	289.96	179.789	110.172	38	36.38
mar-21	305.91	189.68	117	38.23	36.31
abr-21	300.71	189.68	110.8	36.85	37.29
may-21	344.31	203.71	140.27	40.76	37.92
Ene-Feb 2022	306.14	189.05	117.09	38.25	36.3
mar-22	322.97	199.45	124.35	38.48	36.23
abr-22	317.48	199.45	117.76	37.09	37.21
may-22	363.52	214.21	149.08	41.03	37.84
Ene-Feb 2023	300.87	189.91	110.96	36.88	37.26
mar-23	317.42	200.36	117.84	37.1	37.19
abr-23	312.02	200.36	111.59	35.77	38.19
may-23	357.26	215.18	141.28	39.56	38.84
Ene-Feb 2024	344.48	204.06	140.42	40.76	37.9

mar-24	363.42	215.28	149.13	41	37.82
abr-24	357.24	215.28	141.22	39.53	38.85
may-24	409.04	231.21	178.79	43.72	39.51

La Figura 1 presenta la evolución de las pérdidas estructurales entre enero de 2021 y mayo de 2024. Durante este periodo, las pérdidas energéticas han crecido de forma sostenida, pasando de 110.17 GWh en enero de 2021 a 178.79 GWh en mayo de 2024. Esto representa un aumento absoluto significativo que refleja tanto la falta de inversiones efectivas en la infraestructura como un deterioro generalizado en la eficiencia operativa del sistema de distribución eléctrica.

Figura 1. Evolución de las Pérdidas Estructurales (GWh) de 2021 a 2024

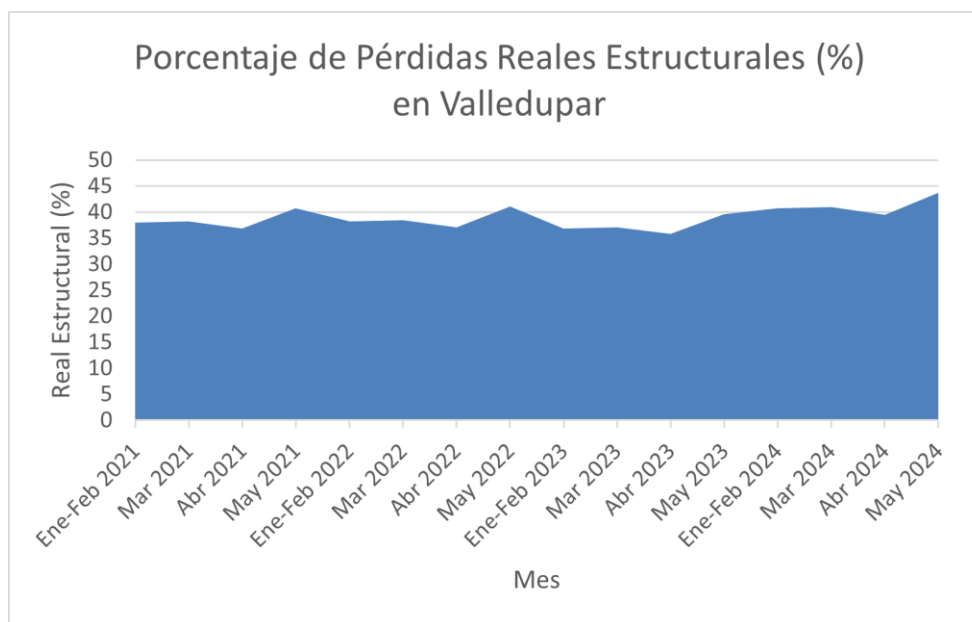


El incremento sostenido en las pérdidas estructurales puede atribuirse a la obsolescencia de las líneas de transmisión y la falta de modernización en transformadores y otros equipos críticos de la red de distribución. Este aumento también puede estar relacionado con el crecimiento en la demanda de energía que no ha sido acompañado por una actualización proporcional de la

infraestructura. En consecuencia, el sistema enfrenta sobrecargas recurrentes que amplifican las pérdidas por efectos físicos como el efecto Joule y la resistencia en las líneas de transmisión.

La Figura 2 muestra un crecimiento continuo en el porcentaje de pérdidas estructurales en relación con la energía de entrada al sistema. Este porcentaje ha pasado de un 38.00% en enero de 2021 a un 43.72% en mayo de 2024. Esto indica no solo un aumento absoluto en las pérdidas energéticas, sino también un deterioro en la eficiencia global del sistema, ya que las pérdidas representan una proporción creciente de la energía total distribuida.

Figura 2. Porcentaje de Pérdidas Reales Estructurales (%) de 2021 a 2024



Nota: Se observa un aumento en el porcentaje de pérdidas reales estructurales, pasando del 38.00% en 2021 al 43.72% en mayo de 2024.

Este aumento en el porcentaje de pérdidas reales estructurales no es solo un reflejo de las deficiencias físicas del sistema, sino también un indicador del bajo nivel de mantenimiento y modernización de las redes. Además, el crecimiento de la población y la expansión urbana de Valledupar han sobrecargado el sistema, creando más puntos de fallo. Se podría contrarrestar

este fenómeno mediante inversiones en tecnologías inteligentes, que permiten una mayor automatización y control en tiempo real de la red.

4.2. Pérdidas técnicas y no técnicas

Los resultados obtenidos permiten una clara distinción entre las pérdidas técnicas y las pérdidas no técnicas en el sistema de distribución de Valledupar.

Pérdidas técnicas

Las pérdidas técnicas, que se producen debido a la resistencia de los materiales y la ineficiencia inherente en la conducción de energía, representan una parte significativa de las pérdidas totales en el sistema de distribución. Factores como el envejecimiento de las líneas de transmisión y la falta de inversión en la optimización de los transformadores han contribuido a que estas pérdidas se mantengan en niveles altos durante todo el periodo de estudio.

En el periodo de enero a mayo de 2024, las pérdidas técnicas ascendieron a 178.79 GWh, lo que representa una parte sustancial del total de la energía distribuida. Este fenómeno se ha exacerbado debido al crecimiento de la demanda energética sin una correspondiente mejora en la infraestructura, resultando en una mayor sobrecarga de los equipos existentes.

Pérdidas no técnicas

Las pérdidas no técnicas, como el hurto de energía y la manipulación de medidores, también representan una proporción considerable del total de las pérdidas energéticas. Los datos indican que estas pérdidas están concentradas en sectores socioeconómicamente vulnerables, donde las conexiones ilegales y el uso indebido de la energía son prácticas recurrentes.

Durante el periodo de estudio, las pérdidas no técnicas fueron particularmente elevadas en áreas marginales de Valledupar, donde el control y monitoreo del uso energético es deficiente. Esto subraya la necesidad de un enfoque más riguroso por parte de las autoridades locales y las empresas de distribución para implementar programas comunitarios que eduquen sobre el uso responsable de la energía y sancionen las conexiones ilegales.

4.3. Energía de entrada y ventas Base

El análisis de los datos de energía de entrada muestra un crecimiento constante en la demanda de energía en Valledupar. La energía de entrada pasó de 289.96 GWh en enero de 2021 a 409.04 GWh en mayo de 2024. Sin embargo, este aumento en la energía de entrada no se ha traducido en un crecimiento proporcional en las ventas base, lo que indica una creciente brecha entre la energía distribuida y la energía efectivamente facturada a los usuarios finales.

El desbalance entre la energía de entrada y las ventas base evidencia que una parte significativa de la energía distribuida se está perdiendo en el sistema, ya sea por ineficiencias técnicas o por pérdidas no técnicas (hurto y fraude). Este fenómeno podría mitigarse mediante la instalación de sistemas de monitoreo más avanzados que detecten en tiempo real las áreas con mayores pérdidas.

4.4. Evolución de las pérdidas estructurales

Las pérdidas estructurales han seguido una tendencia de incremento durante el periodo de estudio. En enero de 2021, las pérdidas estructurales ascendían a 110.17 GWh, mientras que en mayo de 2024 se registraron 178.79 GWh. Este incremento no solo afecta la eficiencia del

sistema, sino también la calidad del servicio eléctrico suministrado a los usuarios, quienes enfrentan cortes de energía más frecuentes y fluctuaciones en el suministro.

El aumento en las pérdidas estructurales está directamente relacionado con la falta de inversiones en infraestructura. Las redes de distribución están sobrecargadas y los transformadores son obsoletos, lo que genera una mayor cantidad de pérdidas por calentamiento y degradación de los componentes. Para revertir esta tendencia, sería necesaria una modernización de los sistemas de transmisión y distribución, con el fin de reducir las pérdidas derivadas de la ineficiencia física del sistema.

4.5. Indicadores de pérdidas reales estructurales

El porcentaje de pérdidas reales estructurales es un indicador clave para medir la eficiencia del sistema de distribución. En enero de 2021, este porcentaje era del 38%, mientras que en mayo de 2024 aumentó al 43.72%. Este incremento en el porcentaje de pérdidas sugiere que el sistema no solo está perdiendo más energía en términos absolutos, sino que la proporción de energía perdida en relación con la energía total ha aumentado de forma significativa.

Este indicador refleja un deterioro generalizado en la gestión del sistema de distribución eléctrica. El hecho de que las pérdidas estén creciendo más rápido que la energía de entrada pone de manifiesto la necesidad urgente de implementar medidas correctivas. Una solución posible sería la implementación de tecnologías de medición más avanzadas, como los medidores inteligentes, que permiten identificar con mayor precisión las áreas donde ocurren las pérdidas y actuar de manera más rápida.

5. DISCUSIÓN

5.1. Interpretación de resultados

El análisis de los datos recolectados muestra un incremento sostenido en las pérdidas estructurales, tanto en términos absolutos como en relación con el porcentaje de energía total de entrada. Este aumento sugiere que el sistema de distribución eléctrica de Valledupar ha experimentado una reducción en su eficiencia operativa a lo largo del periodo de estudio, lo que afecta directamente la sostenibilidad del servicio y el desarrollo económico de la región. Esta situación coincide con la observación de (González & Pérez, 2020), quienes destacan que la infraestructura obsoleta en países en desarrollo es un factor crítico que eleva las pérdidas técnicas de manera significativa. La modernización del sistema, incluyendo transformadores y líneas de transmisión, no solo reduciría estas pérdidas, sino que también mejoraría la confiabilidad del servicio para los usuarios, que actualmente enfrentan interrupciones frecuentes y fluctuaciones de voltaje.

Pérdidas técnicas y su impacto:

Las pérdidas técnicas son inevitables en cualquier sistema de distribución debido a la naturaleza de los materiales y la infraestructura; sin embargo, el nivel de estas pérdidas en Valledupar ha aumentado debido a la falta de modernización acorde con el crecimiento demográfico y la expansión urbana. Esto es consistente con estudios de países latinoamericanos que identifican el deterioro de la infraestructura y la sobrecarga de las redes como factores clave en el aumento de las pérdidas técnicas (González & Pérez, 2020). Los resultados sugieren que una inversión significativa en tecnologías avanzadas, como redes inteligentes y sistemas de monitoreo, sería crucial para reducir estas pérdidas. En comparación, la experiencia de reportada

por (Martínez & Gómez, 2019) muestra que la implementación de tecnologías como medidores inteligentes ha permitido reducir pérdidas técnicas en un 30%, lo que indica que Valledupar podría beneficiarse de una adopción similar de tecnología avanzada para mejorar la eficiencia del sistema.

Pérdidas no técnicas, retos y soluciones:

Por otro lado, las pérdidas no técnicas, como el hurto de energía, la manipulación de medidores y las conexiones fraudulentas, representan un desafío importante para la eficiencia del sistema y el equilibrio financiero de la empresa distribuidora. Este fenómeno es también ampliamente documentado en zonas con alta vulnerabilidad social, donde las conexiones ilegales son más comunes debido a factores económicos y sociales, como argumentan López y Ramírez (2019). Los resultados del estudio sugieren que las pérdidas no técnicas están concentradas en sectores de bajos ingresos en Valledupar, donde la infraestructura de control es limitada. Esto respalda la necesidad de medidas que combinen sanciones estrictas con programas educativos que promuevan un uso responsable de la energía y fomenten la inclusión en el sistema formal. Estas conclusiones se alinean con estudios previos de Willis (2017), que asocian los altos niveles de pérdidas no técnicas en países en desarrollo con factores socioeconómicos y sugieren un enfoque integral que incluya tanto aspectos técnicos como comunitarios.

5.2. Comparaciones con otros estudios

Al comparar los resultados de este estudio con investigaciones realizadas en Colombia y América Latina, se observa que las pérdidas energéticas en Valledupar superan notablemente los promedios nacionales y regionales. Según datos de la CREG (2021), las pérdidas energéticas en el sistema eléctrico colombiano rondan el 17%, mientras que en Valledupar estas alcanzaron el

43.72% en mayo de 2024. Este contraste pone en evidencia no solo las deficiencias en la infraestructura de distribución, sino también la falta de políticas efectivas para mitigar las pérdidas no técnicas. Estudios en Medellín y otras ciudades de América Latina sugieren que la implementación de tecnologías de monitoreo avanzadas y programas de control comunitario ha resultado efectiva en la reducción de pérdidas. Por ejemplo, Martínez y Gómez (2019) encontraron que la implementación de redes inteligentes redujo las pérdidas no técnicas en un 30%, lo cual podría replicarse en Valledupar para mejorar la eficiencia.

La revisión de estudios internacionales también indica que la relación entre el nivel socioeconómico y las pérdidas no técnicas es significativa. Willis (2017) subraya que, en contextos de baja renta y alto riesgo social, las conexiones ilegales y otros tipos de pérdidas no técnicas son más frecuentes, lo cual se alinea con los hallazgos en Valledupar. Esto resalta la importancia de diseñar soluciones que no solo incluyan inversiones tecnológicas, sino también programas de inclusión social y educación en el uso de energía, lo cual podría contribuir a mitigar estas pérdidas en el largo plazo.

5.3. Relación entre el crecimiento demográfico y las pérdidas de energía

El crecimiento demográfico de Valledupar, junto con su expansión urbana no planificada, ha sido uno de los principales factores detrás del aumento en las pérdidas energéticas. A medida que la población ha crecido, la demanda de energía ha superado la capacidad de la infraestructura existente para gestionarla de manera eficiente, generando sobrecargas en las líneas de transmisión y los transformadores, y agravando las pérdidas tanto técnicas como no técnicas.

El análisis de los datos revela que, aunque la cantidad de energía de entrada al sistema ha aumentado significativamente entre 2021 y 2024, este aumento no ha sido proporcional al crecimiento en la energía vendida, lo que refleja una ineficiencia cada vez mayor en la distribución. Esto es consistente con estudios previos que han mostrado cómo el rápido crecimiento demográfico en zonas urbanas de países en desarrollo puede ejercer presión sobre infraestructuras obsoletas, incrementando las pérdidas energéticas y afectando la calidad del servicio (Gutiérrez & Silva, 2020).

5.4. Impacto de las pérdidas de energía en la calidad del servicio eléctrico

Las pérdidas energéticas no solo representan una merma en términos económicos para la empresa distribuidora, sino que también afectan directamente la calidad del servicio que reciben los usuarios en Valledupar. Las pérdidas, especialmente las no técnicas, contribuyen a cortes de energía frecuentes, fluctuaciones en el voltaje y una reducción en la confiabilidad del suministro. Esto tiene un impacto desproporcionado en los sectores más vulnerables de la población, quienes dependen de un servicio eléctrico constante para sus actividades diarias.

En el estudio se documentaron varias áreas de Valledupar donde los usuarios reportaron interrupciones frecuentes y baja calidad del suministro. Esto es coherente con el análisis de las pérdidas, ya que las áreas con mayores pérdidas no técnicas tienden a ser aquellas con infraestructura deficiente y donde la regulación del servicio es más laxa. A medida que las pérdidas energéticas aumentan, también lo hace la frecuencia de las interrupciones en el servicio, afectando negativamente la productividad económica y la calidad de vida de los residentes.

Este hallazgo es consistente con investigaciones anteriores en otras regiones de América Latina, donde se ha demostrado que la reducción de las pérdidas técnicas y no técnicas está directamente relacionada con una mejora en la calidad del servicio eléctrico (López & Ramírez, 2019). Esto sugiere que las inversiones en infraestructura no solo reducirían las pérdidas, sino que también mejorarían la satisfacción de los usuarios y el desempeño económico de la región.

5.5. Impacto ambiental de las pérdidas energéticas

Las pérdidas energéticas en el sistema de distribución de Valledupar también tienen un impacto ambiental considerable. Cada kilovatio-hora perdido en el sistema representa recursos adicionales que deben utilizarse para compensar esa energía. En el contexto de los esfuerzos globales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, la reducción de pérdidas energéticas puede jugar un papel importante en la sostenibilidad ambiental de la región.

González y Pérez (2020) destacan que las mejoras en infraestructura y la reducción de pérdidas técnicas no solo optimizan el sistema eléctrico, sino que también contribuyen a una menor dependencia de combustibles fósiles y a la reducción de las emisiones de carbono. La implementación de tecnologías de energía renovable y redes inteligentes en Valledupar podría

mitigar el impacto ambiental de las pérdidas, especialmente en áreas de bajos ingresos donde el acceso a la energía es limitado.

5.6. Implicaciones para futuros estudios

A partir de los resultados de este estudio, se identifican varias áreas para futuras investigaciones. Una línea de investigación interesante sería explorar cómo la implementación de redes inteligentes podría reducir las pérdidas en Valledupar, ya que estas tecnologías permiten monitorear en tiempo real y detectar áreas problemáticas con mayor precisión.

Además, los estudios futuros podrían enfocarse en el impacto de políticas públicas y programas comunitarios que eduquen y regulen el uso de la energía, considerando que el hurto de energía y las conexiones ilegales están correlacionadas con factores socioeconómicos. López y Ramírez (2019) sugieren que un enfoque que combine sanciones con educación comunitaria y programas de inclusión social podría ser efectivo para reducir las pérdidas no técnicas a largo plazo.

6. CONCLUSIONES

El análisis de las pérdidas energéticas en el sistema de distribución eléctrica de Valledupar ha permitido identificar que tanto las pérdidas técnicas como las no técnicas son factores cruciales que afectan la eficiencia del sistema. Las pérdidas técnicas, atribuibles a la infraestructura obsoleta, muestran la necesidad urgente de inversión en la modernización de redes y transformadores para mejorar la eficiencia operativa. Estas mejoras deben estar acompañadas de la adopción de tecnologías avanzadas, como redes inteligentes, que permitan optimizar la gestión de la energía y reducir el impacto de las pérdidas en el sistema.

Por otro lado, las pérdidas no técnicas, derivadas del hurto de energía y la manipulación de medidores, representan un desafío complejo que requiere un enfoque integral. No basta con implementar tecnologías de detección; es necesario desarrollar políticas públicas que incluyan medidas punitivas, junto con programas de sensibilización comunitaria y acciones de regularización de sectores informales. Esto es clave para reducir el impacto económico que estas pérdidas generan en la empresa distribuidora y para mitigar las desigualdades sociales derivadas de los costos adicionales que deben asumir los usuarios regulares.

Las pérdidas energéticas no solo afectan la rentabilidad del sistema eléctrico, sino que además tienen un impacto directo en la calidad del servicio y en la productividad económica de la región. La reducción de las pérdidas permitiría una mayor confiabilidad en el suministro, mejorando el desarrollo regional y la satisfacción de los usuarios.

Se sugiere que futuras investigaciones profundicen en el impacto de la modernización tecnológica y su capacidad para mitigar las pérdidas tanto técnicas como no técnicas. Además, es necesario evaluar cómo las inversiones en energía renovable y la actualización de la infraestructura pueden proporcionar soluciones sostenibles a largo plazo para los desafíos de eficiencia energética que enfrenta Valledupar. Un enfoque coordinado entre la empresa, las autoridades y las comunidades permitirá avanzar hacia un sistema más eficiente y resiliente.

7. RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos, se recomienda realizar un enfoque más amplio que contemple un análisis comparativo de las pérdidas energéticas en otras ciudades de características similares a Valledupar. Esto permitiría identificar patrones comunes en la infraestructura y factores socioeconómicos que influyen en las pérdidas no técnicas, lo que podría facilitar el diseño de estrategias más efectivas para reducirlas. Además, sería útil considerar la integración de modelos predictivos basados en inteligencia artificial para anticipar las zonas con mayores riesgos de pérdidas.

Otra recomendación clave es mejorar la recolección de datos sobre las pérdidas no técnicas. Se podría implementar un sistema de monitoreo en tiempo real utilizando redes inteligentes y medidores avanzados que proporcionen datos más precisos y actualizados sobre el consumo de energía en distintas áreas. Esto no solo permitiría detectar el hurto de electricidad de manera más eficiente, sino que también facilitaría la optimización del sistema de distribución a partir de datos

fiables y precisos. La integración de tecnologías avanzadas podría también mejorar la planificación y la toma de decisiones operativas.

Desde un enfoque metodológico, futuros estudios podrían incluir entrevistas a expertos y actores clave del sector eléctrico, con el fin de comprender más a fondo las barreras políticas, económicas y sociales que limitan la modernización de la infraestructura y la adopción de medidas para combatir las pérdidas no técnicas. La investigación también podría incorporar un análisis más detallado de los impactos sociales, evaluando cómo las pérdidas energéticas afectan a los diferentes sectores de la población.

Finalmente, es recomendable que las políticas públicas se enfoquen no solo en sanciones para el hurto de energía, sino también en incentivos para la regularización del consumo en sectores informales, combinando educación y asistencia técnica. Esto generaría un cambio más sostenible y equitativo en el consumo energético.

REFERENCIAS

- Afinia. (2021). *Informe de gestión anual*. Valledupar, Colombia.
- Cabrera Brito, C., & Pedro Francisco, R. (2016). *Metodología para Determinar las Pérdidas No Técnicas de Energía en el Sistema de Distribución de la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR*. Cuenca, Ecuador.
- Cañari Dias, K., & Bacon Villanueva, M. (2023). *Análisis del control de pérdidas y recupero de energía eléctrica del alimentador A4005 en la Unidad de Negocios Ayacucho, 2023*. Huancayo, Perú.
- Congreso de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993*. Bogotá D.C., Colombia.
- Congreso de Colombia. (1994). *Ley 142 de 1994*. Bogotá D.C., Colombia.
- Congreso de Colombia. (1994). *Ley 143 de 1994*. Bogotá D.C., Colombia.
- CREG. (2018). *Resolución CREG 015 de 2018*. Bogotá D.C., Colombia.
- CREG. (2021). *Informe de pérdidas de energía en Colombia*. Bogotá D.C., Colombia.
- CREG. (2021). *Resolución CREG 025 de 2021*. Bogotá D.C., Colombia.
- González Torres, F. (2019). *Estudio de causas incidentes en las pérdidas no técnicas en baja tensión de una empresa distribuidora de electricidad con alta demanda*. Guayaquil, Ecuador.
- González, L. & Pérez, A. (2020). *Análisis de pérdidas de energía en sistemas de distribución en países en desarrollo*.
- Gutiérrez, L. & Silva, J. (2020). *Implementación de Smart Grids en Latinoamérica*. *Revista de Energía y Tecnología*.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2016). *Metodología de la investigación (6ª ed.)*. McGraw-Hill.
- IDEAM. (2018). *Informe del estado del medio ambiente y los recursos naturales*. Bogotá D.C., Colombia.
- López, R. & Ramírez, S. (2019). *Impacto de las pérdidas no técnicas en el sistema eléctrico colombiano*. *Energía y Sociedad*.
- Martínez, P. & Gómez, F. (2019). *Estrategias para la reducción de pérdidas en sistemas eléctricos de distribución*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Bogotá D.C., Colombia.: Política Nacional de Cambio Climático.
- OLADE. (2023). *Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2023*. Quito, Ecuador.

Presidencia de la República. (2015). *Decreto 1076 de 2015*. Bogotá D.C., Colombia.

UPME. (2019). *Plan Energético Nacional: 2020- 2050*. Bogotá D.C., Colombia.

UPME. (2022). *Proyección Demanda Energía Eléctrica, Gas Natural Y Combustibles Líquidos 2022 - 2036*. Bogotá D.C., Colombia.

Willis, H. L. . (2017). *Power Distribution Planning Reference Book*.