

ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTRATEGIAS UTILIZADAS PARA PROTEGER
LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGENTES EXTERNOS QUE INTENTEN
VULNERARLAS CON EL PROPÓSITO DE REDUCIR LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA
ELÉCTRICA NO TÉCNICAS.

JAIRO ALEXANDER CONTRERAS BLANCO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2025

ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTRATEGIAS UTILIZADAS PARA PROTEGER
LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGENTES EXTERNOS QUE INTENTEN
VULNERARLAS CON EL PROPÓSITO DE REDUCIR LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA
ELÉCTRICA NO TÉCNICAS.

JAIRO ALEXANDER CONTRERAS BLANCO

Monografía para optar al título de
Especialista en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica

Director

GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2025

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTRATEGIAS UTILIZADAS PARA PROTEGER LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGENTES EXTERNOS QUE INTENTEN VULNERARLAS CON EL PROPÓSITO DE REDUCIR LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA NO TÉCNICAS.¹

AUTOR: JAIRO ALEXANDER CONTRERAS BLANCO²

PALABRAS CLAVE: PÉRDIDAS DE ENERGÍA, CONTROL, BLINDAJE, OPERADOR DE RED, REDES ELECTRICAS.

DESCRIPCIÓN:

El conocimiento y adaptabilidad de algunos usuarios a vulnerar las redes de los sistemas de distribución de energía eléctrica actuales, lleva a la búsqueda e implementación de nuevas y mejores tecnologías y/o materiales que permitan minimizar o en su defecto eliminar la(s) fuente(s) generadora(s) de las pérdidas no técnicas de energía eléctrica.

Por otra parte, el choque social con los usuarios debe ser lo más mínimo posible para evitar así problemas de tipo de orden público antes durante y/o luego de la intervención técnica programada por los operadores de red; razón por la cual se debe realizar un seguimiento continuo al sector por parte de un equipo de trabajo que se encargue de solucionar las inquietudes de los habitantes de las comunidades especialmente en aquellas que siempre ha existido la cultura de la ilegalidad y para lo que se debe generar un cambio de actitud.

El hecho de que se presenten pérdidas de energía eléctrica no técnicas en los diferentes circuitos que componen el sistema de distribución de energía eléctrica, representa así mismo pérdidas económicas para la empresa; razón por la cual, deben ser remodelados los sistemas con materiales que permitan una seguridad y protección, incluyendo tecnologías modernas que imposibiliten la intervención por agentes externos de los sistemas de distribución de energía eléctrica.

¹ Monografía

² Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Profesor Gabriel Ordóñez Plata.

ABSTRACT

TITLE: COMPARATIVE ANALYSIS OF STRATEGIES USED TO PROTECT DISTRIBUTION NETWORKS FROM EXTERNAL AGENTS THAT ATTEMPT TO BREAK THEM IN ORDER TO REDUCE NON-TECHNICAL ELECTRICAL ENERGY LOSSES.¹

AUTHOR: JAIRO ALEXANDER CONTRERAS BLANCO²

KEY WORDS: ENERGY LOSSES, CONTROL, BLINDAGE, GRID OPERATOR, ELECTRICAL NETWORKS.

DESCRIPTION:

The awareness and adaptability of some users to breach the networks of current electrical power distribution systems leads to the search for and implementation of new and improved technologies and/or materials that minimize or, failing that, eliminate the source(s) generating non-technical electrical energy losses.

Furthermore, social disruption to users must be minimized to avoid public order problems before, during, and/or after the technical intervention scheduled by grid operators. Therefore, the sector must be continuously monitored by a team tasked with addressing the concerns of community residents, especially in those where a culture of illegality has always existed, and a change in attitude is essential.

The occurrence of non-technical power losses in the various circuits that comprise the power distribution system also represents economic losses for the company. Therefore, the systems must be remodeled with materials that allow for safety and protection, including modern technologies that make it impossible for external agents to intervene in the power distribution systems.

¹ Monograph

² Faculty of Physical and Mechanical Engineering, School of Electrical, Electronic, and Telecommunications Engineering. Director: Professor Gabriel Ordóñez Plata.

CONTENIDO

CONTENIDO	5
LISTA DE ILUSTRACIONES	7
LISTA DE ECUACIONES.....	7
LISTA DE TABLAS	7
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
MARCO CONCEPTUAL.....	11
CAPÍTULO 1. PERFIL DEL CLIENTE.....	13
1.1. Aspecto social	13
1.1.1. Etapa del antes.....	14
1.1.2. Etapa del durante	14
1.1.3. Etapa del después.....	15
1.2. Aspecto cultural.....	15
1.3. Aspecto económico	16
CAPÍTULO 2. CUANTIFICACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA NO TÉCNICAS	17
2.1. Cálculo de las pérdidas no técnicas	17
2.2. Marco regulatorio nacional	18
CAPÍTULO 3. ESTRATEGIAS UTILIZADAS PARA EL BLINDAJE Y REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA NO TÉCNICAS UTILIZANDO TOPOLOGÍAS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN Y SISTEMAS DE MEDICIÓN MODERNOS ...	20
3.1. Red abierta aérea convencional	20
3.2. Red eléctrica trenzada	21
3.2.1. Red subterránea	22
3.2.2. Red en semiestrategia	23
3.2.3. Red integral.....	23
3.3. Proyectos con aplicación AMÍ.....	24

CAPÍTULO 4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN LA APLICACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS UTILIZADAS PARA BLINDAR LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	26
4.1. Caso de estudio aplicado a redes eléctricas trenzadas convencionales - rural	26
4.2. Caso de estudio aplicado a redes eléctricas trenzadas convencionales - urbano	27
4.3. Caso de estudio aplicado a redes trenzadas tipo Montaje Integral – asentamiento humano urbano	28
4.4. Caso de estudio aplicado a redes trenzadas tipo Montaje Integral – asentamiento humano rural	29
4.5. Caso de estudio aplicado a intervención de redes trenzadas subterráneas	30
4.6. Caso de estudio aplicado a redes con aplicación de tecnologías AMI.....	31
CONCLUSIONES	33
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura 1 Causas de la aparición de pérdidas no técnicas en los sistemas de distribución de energía eléctrica.....	12
---	----

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Cálculo de las pérdidas totales de energía eléctrica.....	17
Ecuación 2 Cálculo del índice de pérdidas	18
Ecuación 3 Tasa de crecimiento promedio por periodo.....	27

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Recuperación de energía eléctrica en un circuito rural – estrategia de remodelación de red de distribución por red trenzada convencional.....	26
Tabla 2 Recuperación de energía eléctrica en un circuito urbano – estrategia de remodelación de red de distribución por red trenzada convencional.	28
Tabla 3 Recuperación de energía eléctrica en un asentamiento humano urbano – estrategia de remodelación con red trenzada tipo montaje integral.	28
Tabla 4 Recuperación de energía eléctrica en un asentamiento humano rural – estrategia de remodelación con red trenzada tipo montaje integral.	29
Tabla 5 Recuperación de energía eléctrica en un conjunto residencial – estrategia de intervención de red trenzada subterránea.	30
Tabla 6 Recuperación de energía eléctrica en un circuito urbano – estrategia de remodelación de red con aplicación de tecnologías AMI.	31

OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo de las estrategias aplicadas para el blindaje de las redes de distribución de energía eléctrica con el propósito de prevenir y/o reducir las pérdidas de energía eléctrica no técnicas a las que se encuentra expuesta un sistema de distribución de energía eléctrica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Contextualizar la situación social, cultural y económica del territorio sobre el cual CENS grupo EPM presta los servicios de distribución y comercialización de energía eléctrica.
- Conceptualizar aquellas estrategias que usualmente son utilizadas en CENS grupo EPM para disminuir y/o eliminar las pérdidas de energía eléctrica no técnicas.
- Analizar las ventajas y desventajas que se presentan en la implementación de estas estrategias para el blindaje de las redes de distribución de energía eléctrica.
- Definir y comparar la efectividad que presentan las estrategias de blindaje mencionadas para seleccionar adecuadamente la metodología a implementar en una situación dada.

MARCO CONCEPTUAL

La regulación del sector eléctrico colombiano ha establecido límites de la cantidad de pérdidas de energía eléctrica reconocidas a los diferentes agentes que participan en los procesos que permiten la utilización de la energía eléctrica por parte de todos los colombianos. En este sentido, los operadores de red (OR) deben controlar el nivel de pérdidas de potencia que se presentan en los sistemas de distribución de energía eléctrica. Una de las razones por las que se presentan pérdidas de energía eléctrica y que distan de las pérdidas técnicas producidas por las características implícitas de los materiales utilizados para la construcción de redes eléctricas y las configuraciones o estrategias implementadas en las mismas, radica en la falta de ética de algunos de los usuarios de la energía eléctrica, motivo por el que los operadores de red deben hacer ingentes esfuerzos para evitar que éstos traten de consumir energía eléctrica sin que esta sea contabilizada (no facturada) por los medidores instalados con este propósito. Estas pérdidas de energía eléctrica son conocidas como pérdidas no técnicas (“pérdidas negras”) y es necesario eliminarlas o reducirlas al máximo para que el operador de red no se vea perjudicado en los procesos de facturación de la energía eléctrica en el sistema interconectado nacional [1] [2].

Muchas pueden ser las causas detrás de estas pérdidas de energía eléctrica no técnicas siendo la más referenciada en la literatura las relacionadas con la presencia de consumidores fraudulentos quienes consumen energía eléctrica directa de la red sin pagar por esta [3]. Las pérdidas de energía eléctrica no técnicas también pueden aparecer por la presencia de fallas de alta impedancia no detectadas en las redes de baja tensión y elementos de medida, traducándose esto en defectos presentes en los cables conductores, contacto de conductores primarios con objetos semi-aislados como por ejemplo un árbol, y medidores no calibrados [4] por mencionar algunos tópicos.

En adición, las pérdidas de energía eléctrica no técnicas pueden generarse por dos motivos específicos: conexión y medición, como se evidencia en el esquema mostrado en la Figura 1.

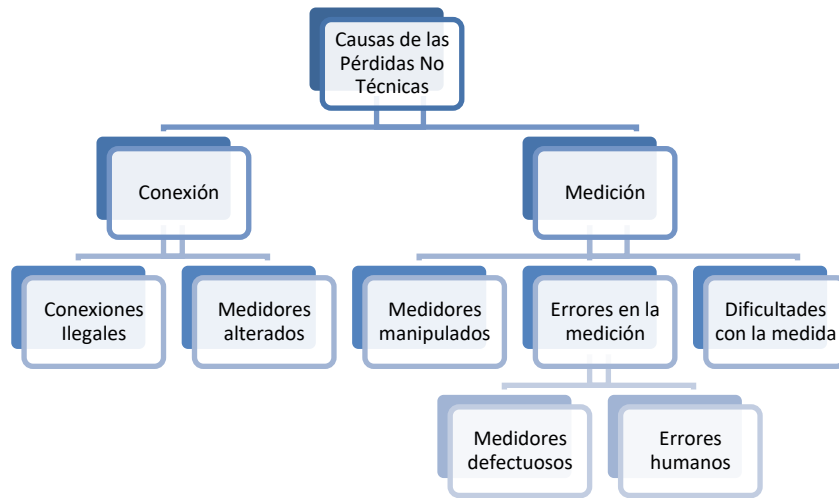


Figura 1 Causas de la aparición de pérdidas no técnicas en los sistemas de distribución de energía eléctrica.

Como consecuencia de estas anomalías a las que se encuentran sometidas las redes de distribución de energía eléctrica, puede llegar a generarse una carga extremadamente alta en los generadores de energía y provocar interrupciones en el suministro del fluido eléctrico [5] y esto a su vez produce insatisfacción no solamente para los usuarios legales sino también en aquellos que no pagan por su consumo [2].

De aquí la importancia de eliminar o reducir al máximo las pérdidas de energía no técnicas a través de metodologías que incluyen estrategias sistematizadas para el direccionamiento de inspecciones, implementación de nuevas tecnologías para la detección de irregularidades en instalaciones eléctricas de los usuarios finales (residenciales, comerciales e industriales), implementación de estrategias novedosas y/o adaptadas para reducir o eliminar la vulnerabilidad de las redes por parte de agentes externos y monitorización o control de consumos en tiempo casi-real para aquellos clientes del OR que demandan grandes cantidades de energía eléctrica involucrando medición de energías activa y no activa.

Para realizar una revisión de las metodologías que actualmente se proponen para detectar y eliminar o reducir las pérdidas no técnicas de los sistemas de distribución de energía eléctrica, esta monografía desarrollará una introducción a los aspectos que rodean esta problemática y revisará la efectividad que presenta cada una ellas ante diversos entornos y condiciones.

CAPÍTULO 1. PERFIL DEL CLIENTE

Algunos de los factores que influyen en la aparición de las pérdidas de energía no técnicas giran en torno a las características socioeconómicas de la región entre las que podemos destacar el nivel de ingresos económicos en los hogares, el índice de desempleo de la región, la densidad de la población y la cultura, a la inversión privada representada en la falta o insuficiencia de incentivos y aquellos asociados a un marco regulatorio mediante el cual se logren establecer unas reglas de juego adecuadas [6]; dichos factores serán abordados en el desarrollo de este capítulo.

1.1. Aspecto social

Las labores que se desempeñan por parte del equipo de Control de Pérdidas de Energía Eléctrica (CPEE) de la empresa CENS grupo EPM constantemente se ven afectadas por diversas situaciones con las comunidades presentes en los sectores en que se realizan actividades propias tales como revisiones de normalización del servicio en instalaciones eléctricas conectadas a las redes propias de la empresa, reposición y blindaje de redes eléctricas en baja y media tensión, vinculación de nuevos clientes tanto en sectores muy bien constituidos como también en aquellos sectores con afectación de asentamientos humanos; problemática que puede generarse a partir del suministro de información parcial que posteriormente pueda generar confusión o desinformación en las comunidades presentes en los sectores en que se adelantan labores de notificación u operativas por parte del equipo de CPEE. También puede deberse a cambios en los procedimientos ejecutados sin previa notificación de estos a la comunidad, o también pueden presentarse producto de la naturaleza de las actividades que se desempeñan desde CPEE y que se encuentran orientadas a la recuperación de energía eléctrica dejada de facturar y que, por ende, generan pérdidas financieras para la empresa.

Ante la situación expuesta, surge la figura de la Gestión Social en conjunto con las actividades operativas desempeñadas por la empresa con el propósito principal de mitigar los diversos inconvenientes que se puedan presentar poniendo en marcha un seguimiento a las etapas del antes, durante y después de la ejecución de las actividades propuestas por el equipo CPEE.

1.1.1. Etapa del antes

Como primer paso, se genera la solicitud de acompañamiento a las actividades técnicas propuestas por el equipo CPEE. A partir de aquí, la gestión social se encarga de realizar un análisis de los sectores para los que ha sido requerido el acompañamiento, uno de estos análisis permite la identificación de actores sociales de acuerdo con la complejidad del sector a intervenir, de ser así, se aplica la metodología propuesta por Mitchell, Agle y Wood la cual propone identificar los actores de los diferentes grupos de interés de una organización con el fin de priorizarlos a partir de atributos tales como:

- El poder: Corresponde a la capacidad del actor de afectar el cumplimiento de los objetivos planeados por la empresa en búsqueda de la satisfacción de sus expectativas e intereses.
- La legitimidad: Consiste en la percepción e identificación de que las intenciones de los actores de interés sean apropiadas a las normas sociales legales.
- La urgencia: Percepción de la susceptibilidad de los actores de interés ante un eventual retraso en la atención de sus expectativas por parte de la empresa.

Para que de este modo se pueda llegar a desarrollar una estrategia de relacionamiento con cada uno de estos actores.

Luego de esto se realiza un recorrido en el sector objetivo para el reconocimiento de este, identificando las características principales de la infraestructura existente, necesidades visuales de la comunidad desde el punto de vista de su calidad de vida y servicio. La información recopilada es socializada con el equipo operativo en servicio del equipo CPEE para permitir planificar el tipo de intervención técnica que se realizará en el sector y así poder transmitir estas propuestas a la comunidad mediante talleres educativos y/o visitas orientadoras en temas tales como lo son el riesgo eléctrico, generalidades de los procesos de remodelación o reposición de redes y las principales características y beneficios que ofrece la aplicación de medición recargable.

1.1.2. Etapa del durante

La finalidad de esta etapa es la de brindar acompañamiento en terreno al personal operativo al servicio del equipo CPEE durante la ejecución de actividades en el sector y también la de mediar posibles situaciones de conflicto entre el personal operativo y el usuario.

Durante el proceso de energización de los sistemas de distribución se llevan a cabo talleres educativos y/o visitas de orientación en temas relacionados al proceso de distribución para el uso final de la energía eléctrica, el uso eficiente de esta energía, el control del consumo de la misma y el funcionamiento e implicaciones de la medida recargable³.

1.1.3. Etapa del después

Finalmente se lleva a cabo un seguimiento al proceso educativo a través del desarrollo de talleres sobre el uso legal de la energía eléctrica, derechos y deberes de los clientes del servicio de esta energía, estudio de la facturación del servicio de energía contratado, tirillas de pago para ingreso de código en los medidores de energía recargable (si aplica) con el fin de evidenciar que la lección ha sido aprendida por parte del usuario e identificar situaciones y/o solicitudes adicionales por parte de los mismos frente al servicio de energía eléctrica.

1.2. Aspecto cultural

La cercanía con el vecino país de Venezuela y la situación de conflicto que actualmente se sigue presentando en el sector del Catatumbo ha generado un intercambio cultural constante, que ha influenciado en las costumbres de la región.

La mayor parte del territorio para el que CENS grupo EPM presta sus servicios de distribución y comercialización de energía eléctrica presenta una temperatura media cálida, que acompañada de los efectos producidos por fenómenos climáticos adicionales, contribuye en la aparición de comportamientos fraudulentos para el desvío de energía eléctrica no facturada llegando a producir de esta forma, una fuente de la que se deriva el auge de las pérdidas de energía no técnicas y tendencias a una cultura de no pago; problemática que de cierta forma se ha venido abordando con la compañía de la Gestión Social y de la mano de avances en proyectos de inversión que permita a cada cliente tener de un servicio de calidad

³ Metodología de mercado que ofrece facilidad de pago al cliente

por el que esté dispuesto a contratar y cumplir con las obligaciones que esta prestación conlleva.

1.3. Aspecto económico

CENS grupo EPM brinda sus servicios de distribución y comercialización de energía eléctrica en el territorio comprendido por los departamentos de Norte de Santander, zona sur del Cesar y zona sur de Bolívar en los que actualmente se enfrentan desafíos económicos significativos entre los que se puede mencionar el descenso en las exportaciones a nivel nacional de sus principales productos basados en la agricultura, minería e industrias de manufactura, el alto nivel de desempleo e informalidad presente en la región, el impacto del conflicto armado en regiones como el Catatumbo y la actual situación de migración extranjera a territorio nacional acentuada por la condición de frontera de la región.

Teniendo en cuenta la situación actual de la región y con la finalidad de propiciar mayor facilidad a sus clientes frente al pago efectivo de la energía consumida y registrada por el equipo de medida, la empresa ofrece tres estrategias que pueden llegar a aliviar y gestionar el presupuesto de sus clientes y que se presentan a continuación:

- Paga a tu medida: Con esta iniciativa los clientes pueden pagar su factura en tres (3) pagos de acuerdo con sus capacidades, en 2024 fueron vinculados 17 449 clientes, este crecimiento se debe a la estrategia comercial de trasladar algunos clientes de facturación mensual a bimestral y trimestral, obteniendo esa posibilidad que ofrece la estrategia de fraccionar los pagos y así no se percibe el acumulado del valor de la factura.
- Energía recargable: Con esta oferta los usuarios pueden acceder al servicio de energía de manera flexible, adaptándose a su capacidad de pago, promoviendo la inclusión energética y el consumo responsable, En 2024 se sumaron 3 931 hogares a la estrategia.
- Financiación de cuentas y morosidad: Surge como medida de apoyo a clientes con dificultades de pago, ofreciéndoles tasas de interés reducidas y plazos extendidos para que puedan regularizar sus cuentas. Para el cierre del 2024, fueron financiados 54 280 clientes reduciendo el porcentaje de morosidad a 6,59%, obedeciendo al aumento del número total de clientes en 16 192 respecto al año anterior y a la disminución de clientes en mora [7].

CAPÍTULO 2. CUANTIFICACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA NO TÉCNICAS

El ejercicio de cuantificar las pérdidas de energía no técnicas no solo mejora la eficiencia operativa y financiera de las empresas orientadas al negocio de la distribución y comercialización de energía eléctrica, sino que también contribuye a un sistema eléctrico más justo, seguro y sostenible.

2.1. Cálculo de las pérdidas no técnicas

Las metodologías para determinar el valor equivalente a las pérdidas no técnicas de energía eléctrica son variadas, todas ellas con criterios de fondo que soportan su validez. Algunas de ellas requieren conocimiento acerca de la magnitud de las pérdidas técnicas presentes en el sistema eléctrico y basados en datos históricos tomando como referencia las pérdidas de energía técnica que pudieran presentarse por el tipo de material utilizado para la construcción de las redes de distribución, aspectos tales como el sobrecalentamiento que se presente en los transformadores de distribución de energía para proveer el servicio a una cantidad determinada de clientes vinculados a determinados circuitos eléctricos, el error presente en la medición tanto de la energía entregada por el transformador a sus clientes (macro medición) como en el registro de la energía por facturar de cada cliente particular, en cuyo caso se realiza la diferencia entre la pérdida de energía total (diferencia entre la energía registrada por una medida global de un circuito eléctrico y la sumatoria de energía presente en cada uno de los clientes que conforman el mismo circuito eléctrico) y la pérdida de energía técnica estimada.

$$\text{Pérdidas de energía} = E_{\text{entrada}} - E_{\text{salida}} \quad (1)$$

Donde E_{entrada} corresponde a la energía medida por un equipo de medida global dentro de un circuito eléctrico y E_{salida} corresponde a la sumatoria de los consumos atribuidos a sus clientes y otras cargas asociadas al mismo circuito.

Del mismo modo, tener conocimiento de la magnitud de las pérdidas de energía eléctrica presentes en un determinado circuito eléctrico permite que se calcule uno de los parámetros más importantes a la hora de planear y priorizar su intervención por parte de CPEE, se trata

del índice de pérdidas, que se define como el porcentaje de energía eléctrica que se pierde en el proceso de distribución.

$$IP (\%) = \frac{\text{Pérdidas de energía}}{\text{Entrada}} \quad (2)$$

También se encuentran metodologías de cálculo de pérdidas de energía no técnicas que no dependen del conocimiento previo de las pérdidas técnicas presentes en un circuito eléctrico dado. Un ejemplo de esta metodología es aquella basada en simulaciones de flujos de cargas en cuyo caso se debe contar con un software especializado que permita modelar la estructura y características principales de un circuito eléctrico incluyendo algunas generalidades de sus clientes asociados. Como resultado de esta parametrización, se obtienen datos de interés como: el balance de cargas, la regulación de la tensión presente en la ubicación de cada uno de los clientes pertenecientes al circuito eléctrico, la cargabilidad⁴ del transformador de distribución y por supuesto, las pérdidas de energía técnicas y no técnicas atribuidas a dicho circuito eléctrico.

2.2. Marco regulatorio nacional

En Colombia, el cálculo y gestión de las pérdidas de energía no técnicas está regulado principalmente por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), y forma parte del marco regulatorio para la distribución de energía eléctrica. Se presentan a continuación los principales elementos del marco regulatorio vigente relacionados con estas pérdidas:

- Resolución CREG 015 de 2018: Esta resolución establece la metodología para remunerar la actividad de distribución de energía eléctrica. Incluye el tratamiento de pérdidas tanto técnicas como no técnicas.
Artículo 26: Define el tratamiento de las pérdidas no técnicas dentro del cálculo de los ingresos esperados del operador de red (OR).
Establece límites para las pérdidas reconocidas (típicamente solo se reconocen pérdidas hasta cierto nivel meta).
Promueve la eficiencia mediante incentivos y penalizaciones para los operadores de red en función de sus niveles de pérdidas reales frente a los esperados.

⁴ Capacidad que tiene un transformador para soportar carga eléctrica sobre su potencia nominal

- Resolución CREG 108 de 1997 (y sus modificaciones): Regula la calidad del servicio de energía eléctrica y define indicadores relacionados con las pérdidas de esta energía. Establece obligaciones de reporte por parte de los operadores de red. Determina que los OR deben implementar planes de reducción de pérdidas.
- Resolución CREG 097 de 2008: Regula aspectos específicos del comercializador de energía y su relación con las pérdidas no técnicas, particularmente en la frontera comercial y la medición.
- Plan de Reducción de Pérdidas (PRP): Los operadores de red están obligados a formular y presentar a la CREG un PRP, que debe contener:
Diagnóstico de pérdidas (técnicas y no técnicas).
Estrategias para su reducción (modernización de redes, mejora de medición, campañas contra fraude).
Metas cuantificables y verificables.
- SUI – Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios: El SUI es el ente encargado de recibir y analizar la información de las empresas de servicios públicos, incluyendo las pérdidas de energía reportadas. Aunque no regula directamente, es clave en la fiscalización y control.

CAPÍTULO 3. ESTRATEGIAS UTILIZADAS PARA EL BLINDAJE Y REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA NO TÉCNICAS UTILIZANDO TOPOLOGÍAS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN Y SISTEMAS DE MEDICIÓN MODERNOS

Las pérdidas de energía eléctrica representan un obstáculo para el desarrollo tecnológico y económico de las empresas, ya que estas deterioran la calidad del servicio, afectan directamente en la competitividad empresarial y reducen las inversiones en el sector.

Los altos niveles de pérdidas de energía impiden la viabilidad financiera de las compañías eléctricas que pueden tener consecuencias regulatorias, fiscales y operativas. Estas pérdidas también pueden afectar la capacidad de mantener y expandir una infraestructura adecuada, perjudicando así, la calidad del abastecimiento de la energía eléctrica.

Las deficiencias en la calidad del servicio pueden impactar en: la competitividad económica, la capacidad de cobertura y la inversión financiera en nuevos proyectos, aumentando la probabilidad de que las poblaciones más vulnerables sean afectadas por una menor calidad del servicio de energía eléctrica e incluso llegar al punto de ser alejados por un tiempo más prolongado al acceso a este servicio. [6]

Las pérdidas de energía eléctrica pueden ser atenuadas desde dos campos diferentes pero complementarios entre sí: 1) las acciones correctivas producto de la normalización del servicio de los clientes y la limpieza de las redes del sistema de distribución, y 2) las acciones preventivas que traen consigo las inversiones financieras y la remodelación de los sistemas de distribución y de medida de energía eléctrica.

A continuación, en este capítulo se presentan las diferentes topologías de las redes de distribución utilizadas por CENS grupo EPM y su impacto en las estrategias de blindaje que reducen las pérdidas de energía eléctrica no técnicas. Al final del capítulo se presenta también la alternativa de utilizar la Infraestructura de Medición Avanzada AMI para la detección de pérdidas de energía eléctrica no técnicas.

3.1. Red abierta aérea convencional

Las redes de distribución de energía eléctrica en su gran mayoría son construidas como una red aérea abierta convencional, debido al amplio territorio rural que cubre la empresa y teniendo en cuenta el bajo costo de instalación, operación y mantenimiento que este tipo de montaje trae consigo.

Esta red consta de cables conductores desnudos que requieren del montaje de aisladores en poste para impedir el contacto físico entre ellos. Así como presenta ventajas tales como los ya mencionados costos asociados a la implementación, operación y mantenimiento y la facilidad con que se pueden realizar las maniobras pertinentes a mantenimiento, también presenta desventajas como el peligro que representa el hecho de tener cables conductores expuestos a cualquier contacto con materiales u objetos conductores entre los que se puede incluir al mismo ser humano, así como la relativa facilidad que ofrece frente a conexiones ilegales dando lugar a la aparición de pérdidas de energía no técnicas y otras desventajas un tanto más estéticas ya que este tipo de montaje requiere mayor espacio y cantidad de materiales haciéndolo visualmente más invasivo.

3.2. Red eléctrica trenzada

Usualmente ubicada en zonas residenciales o suburbanas, esta red consta de cables conductores encauchetados⁵ en forma de trenza que no necesitan la instalación externa de aisladores. Su recubrimiento aislante impide el contacto físico y un aspecto visual más compacto y estético. Adicionalmente, corrige una de las desventajas presentadas por la red aérea convencional al disminuir substancialmente el riesgo de contacto accidental y por lo tanto es una red más segura.

La instalación de red trenzada en los sistemas de distribución de energía eléctrica resulta ser más sencilla y rápida en comparación con la red aérea convencional. Tiene una mayor resistencia a su eventual vulneración y por consiguiente previene las pérdidas de energía eléctrica no técnicas. Como contraparte, presenta un costo de implementación, operación y mantenimiento mayor que la red con conductores desnudos.

A pesar que la implementación de esta red provee un blindaje mayor en comparación con la red abierta aérea convencional, no significa que sea invulnerable, aunque opone una mayor resistencia a la aparición de conexiones ilegales y comportamientos fraudulentos, existen

⁵ Material recubierto de una capa aislante comúnmente de caucho

situaciones en las que se requiere reforzar el recubrimiento de tramos específicos identificados durante las labores de diagnóstico en circuitos eléctricos con presencia de altas pérdidas. En estos casos puntuales se hace necesaria la aplicación de un material elaborado en tejido de punto flexible basado en fibra de vidrio completamente cubierta de una resina de uretano color negro llamado cinta armorcast⁶. Pese a que su estado de base es flexible, luego de haber sido enrollada en el tramo de red trenzada vulnerable y entrar en contacto con agua y aire cambia su estado a uno completamente sólido, adicionando protección y dificultando la manipulación no autorizada de la red.

También se pueden encontrar algunas variantes que utilizan la red trenzada como base de construcción y que son utilizadas por CENS grupo EPM como estrategia para controlar y reducir las pérdidas de energía eléctrica tales como lo son la red subterránea, la red en semiestrategia⁷ y la red integral.

3.2.1. Red subterránea:

Se trata de una red comúnmente utilizada en zonas urbanas con alta concentración residencial, también puede ser encontrada en lugares públicos amplios como parques o plazas y en lugares turísticos en los que se presume que no es frecuente la manipulación de las redes eléctricas con el propósito de defraudar el fluido eléctrico y por consiguiente lo que se busca es un aspecto del entorno más armonioso y mucho más seguro al contener el cable conductor aislado dentro de ductos subterráneos a los que se tiene acceso a través de cajas de inspección situadas en los puntos en que convergen las ramificaciones del mismo.

Como contraparte, esta configuración tiene un mayor costo de implementación, operación y mantenimiento, ya que las líneas eléctricas no se encuentran a un alcance visual inmediato y por consiguiente su manejo resulta ser más dispendioso y requiere mayor habilidad técnica para identificar las fases y neutro propias del montaje.

Para el caso particular de CENS grupo EPM, este montaje se aplica con mayor frecuencia en los conjuntos residenciales que presentan inconvenientes con los permisos de ingreso a éstos y se presentan dificultades adicionales con la ubicación de las cajas de inspección

⁶ Refuerzo estructural fabricado por 3M

⁷ Estrategia de remodelación de red híbrida entre la estrategia rural y la red abierta o trenzada convencional

subterráneas puesto que en ocasiones se encuentran ocultas bajo láminas cerámicas o remodelaciones consideradas por las administraciones de conjuntos residenciales que buscan que sus espacios sociales sean amplios.

3.2.2. Red en semiestrategia

Esta red toma su nombre de la similitud que presenta con el concepto de red rural tomando su nombre por la frecuencia con que se puede presentar esta configuración en el sector rural, en cuyas configuraciones se integran los equipos de medida en un punto concentrado localizado en el poste en que se ubica el transformador de distribución del circuito, poniendo freno a la manipulación no autorizada de la red. Sin embargo, las amplias distancias que suelen separar un poste de otro abren la posibilidad de la aparición de conexiones ilegales con aplicaciones particulares o guiadas para las necesidades de energía eléctrica en la agricultura.

La red semiestrategia surge como aplicación en casos específicos ubicados en el sector urbano, pero con la diferencia de utilizar como punto de concentración de la medida, algunos de los postes ubicados con anterioridad a las colas de circuito en las que se presenta el mayor grado de vulnerabilidad.

De las redes planteadas, esta corresponde a una de las más económicas en términos de implementación, pero así mismo, no representa una medida óptima para evitar las pérdidas de energía eléctrica por su alta probabilidad de reincidencia al fraude.

3.2.3. Red integral

Similar al concepto de red en semiestrategia pero en esta ocasión, la concentración de la medida (gabinete), se encuentra en la parte alta del poste en que se sitúa el transformador de distribución. Se requiere el uso de equipos de medida más robustos que garanticen el registro adecuado de la energía consumida. Los equipos de medidas que proveen soluciones frente a un eventual intento de defraudación del fluido eléctrico y su funcionamiento deber ser de fácil entendimiento tanto para el técnico encargado de ejecutar inspecciones de normalización o lectura, así como también para cada uno de los usuarios a los que se les instala este tipo de equipos de medida.

En el caso particular de CENS grupo EPM, se ha venido consolidando el concepto de energía recargable, en cuyo modelo se dispone de un medidor compuesto de dos cuerpos, uno que va a estar situado dentro de un gabinete estructural situado en la parte alta del poste en el que usualmente se encuentra el transformador de distribución del circuito eléctrico, y otro que se encuentra dentro de cada una de las viviendas que se abastecen del servicio de energía eléctrica, el cual se debe recargar con dinero para que se garantice la continuidad del servicio de energía eléctrica y le permita al cliente ajustarse a sus capacidades financieras y al mismo tiempo crear buenos hábitos de consumo consciente de energía eléctrica.

3.3. Proyectos con aplicación AMI

La aplicación de proyectos alternativos y avanzados como lo es la Infraestructura de Medición Avanzada AMI (Advanced Metering Infrastructure) como recurso de protección y detección de pérdidas de energía eléctrica no técnicas en el ambiente empresarial de CENS grupo EPM es nuevo, pero a pesar de eso, se han logrado realizar modelos y pruebas piloto que han permitido conocer de primera mano los beneficios que esta estrategia puede brindar, permitiendo a la empresa incursionar en las aplicaciones de las redes avanzadas (Smart Grids).

Para la ejecución de un proyecto de medición AMI, se requiere de equipos de medida avanzados (Smart Meters) conformados por un solo equipo, capaz de realizar: la lectura remota, la desconexión o reconexión del servicio de forma remota y la detección de posibles fallas, una red de comunicación que en el caso particular de la empresa utiliza un protocolo de comunicación G3-PLC. Este sistema de comunicación utiliza como medio la red eléctrica de baja o media tensión existente, concentradores de datos encargados de adquirir la información proporcionados por los medidores avanzados y transmitir esta información a un sistema central. Adicionalmente se tiene un software que gestiona la recopilación de datos y cumple la función como control remoto denominado HES (Head-End System) y un sistema de análisis, validación y almacenamiento del gran volumen de datos obtenidos denominado MDMS (Meter Data Management System).

Algunos de los objetivos principales que tiene la aplicación de proyectos AMI tienen que ver con: 1) la detección de fallas en la red en tiempo real (no obstante, depende de la frecuencia de lectura programada en los equipos de medida), 2) la gestión de la demanda eléctrica 3) la

integración de fuentes de energía renovable al sistema eléctrico y 4) la posibilidad de incursionar en nuevos modelos tarifarios.

CAPÍTULO 4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN LA APLICACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS UTILIZADAS PARA BLINDAR LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En el desarrollo de este capítulo se llevará a cabo un estudio del comportamiento de algunos circuitos eléctricos luego de haber sido intervenidos con las estrategias utilizadas actualmente por CENS grupo EPM con el objetivo de proteger y blindar sus redes de distribución de energía eléctrica y teniendo como base los datos obtenidos se establecerá una comparación entre cada una de ellas y así poder facilitar la toma de decisiones durante los procesos de diseño inmersos en las labores de reposición y remodelación de redes eléctricas.

4.1. Caso de estudio aplicado a redes eléctricas trenzadas convencionales - rural

En este caso, se requiere una estrategia de remodelación de una red eléctrica abierta aérea convencional a una de tipo trenzada convencional en el sector rural aledaño a la ciudad de Cúcuta. La red eléctrica rural seleccionada está constituida por 85 usuarios y presenta una pérdida de energía eléctrica equivalente a 5.531,24 kWh/mes. La inversión asciende a los COP 21.580.000,00 requeridos para la reposición de 280 m por red de baja tensión. En la Tabla 1 se presenta el comportamiento de las pérdidas de energía eléctrica para este caso durante los 7 meses posteriores a su intervención.

<i>Periodo</i>	<i>Actual-6</i>	<i>Actual-5</i>	<i>Actual-4</i>	<i>Actual-3</i>	<i>Actual-2</i>	<i>Actual-1</i>	<i>Actual</i>
<i>% IP</i>	12,11%	16,38%	16,38%	16,51%	22,62%	22,62%	22,71%
<i>Pérdida Inicial [kWh]</i>	5531,24	5531,24	5531,24	5531,24	5531,24	5531,24	5531,24
<i>Pérdida Final [kWh]</i>	1395,43	1893,59	1893,59	1970,24	2802,39	2802,39	2907,32
<i>Recuperación [kWh]</i>	4135,81	3637,65	3637,65	3561	2728,85	2728,85	2623,92

Tabla 11 Recuperación de energía eléctrica en un circuito rural – estrategia de remodelación de red de distribución por red trenzada convencional.

La pérdida de energía eléctrica que se obtiene al final del periodo de estudio equivale a 2.907,32 kWh/mes y una recuperación de energía acumulada equivalente a 20.429,81 kWh/mes, representando unos beneficios económicos de COP 20.669.942,00 con base en la

gestión de recuperación de energía eléctrica no facturada, por precio del kilovatio hora-mes con corte de abril-25.

En cuanto al factor de reincidencia ante la reaparición de comportamientos fraudulentos que puedan llegar a afectar nuevamente al circuito eléctrico modelo, se calcula una tasa de crecimiento promedio compuesta que en este caso particular corresponde al 11% mensual, considerando la Ecuación 3.

$$Tasa\ promedio(\%) = \left(\left(\frac{V_{final}}{V_{inicial}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right) * 100 \quad (3)$$

Donde $V_{inicial}$ corresponde a la pérdida de energía eléctrica real con respuesta de recuperación positiva en comparación con su pérdida de energía inicial, V_{final} corresponde a la pérdida de energía eléctrica más reciente y n corresponde al número de meses que separa a las variables V_{final} y $V_{inicial}$.

4.2. Caso de estudio aplicado a redes eléctricas trenzadas convencionales - urbano

En este caso al igual que en el caso anterior, se necesita una estrategia para la remodelación de una red eléctrica abierta aérea convencional a una de tipo trenzada convencional, pero en un sector urbano perteneciente al casco urbano de Cúcuta. La red eléctrica está conformada por 59 usuarios y presenta una pérdida de energía eléctrica equivalente a 3.742,59 kWh/mes y cuya inversión asciende a COP 13.140.000,00 invertidos en la reposición y remodelación de 91 m por baja tensión. La Tabla 2 muestra el comportamiento de las pérdidas de energía eléctrica para este caso durante los 7 meses posteriores a su intervención.

<i>Periodo</i>	<i>Actual-6</i>	<i>Actual-5</i>	<i>Actual-4</i>	<i>Actual-3</i>	<i>Actual-2</i>	<i>Actual-1</i>	<i>Actual</i>
<i>% IP</i>	19,37%	0,27%	0,29%	9,45%	9,44%	5,76%	8,80%
<i>Pérdida Inicial [kWh]</i>	3742,59	3742,59	3742,59	3742,59	3742,59	3742,59	3742,59
<i>Pérdida Final [kWh]</i>	3742,59	44,48	44,49	980,2	991,53	580,96	966,67
<i>Recuperación [kWh]</i>	0	3698,11	3698,1	2762,39	2751,06	3161,63	2775,92

Tabla 2 Recuperación de energía eléctrica en un circuito urbano – estrategia de remodelación de red de distribución por red trenzada convencional.

La pérdida de energía eléctrica que se obtiene al final del periodo de estudio equivale a 966,67 kWh/mes y la recuperación de energía acumulada equivalente a 16.071,29 kWh/mes representando unos beneficios económicos de COP 16.260.192,00 con base en la gestión de recuperación de energía eléctrica no facturada, considerando el precio del kilovatio hora-mes con corte de abril-25.

En cuanto al factor de reincidencia ante la reaparición de comportamientos fraudulentos que puedan llegar a afectar nuevamente al circuito eléctrico modelo, la tasa de crecimiento promedio compuesta característica para este caso particular corresponde al 11% mensual, considerando la Ecuación 3.

4.3. Caso de estudio aplicado a redes trezadas tipo Montaje Integral – asentamiento humano urbano

Para este caso de estudio, se requiere una estrategia para la remodelación de la red eléctrica de un asentamiento, pasando de una configuración de red eléctrica abierta convencional a una de tipo trenzada estilo montaje integral. El asentamiento humano está ubicado en el sector urbano de la ciudad de Cúcuta y tiene 107 usuarios y una pérdida total de energía eléctrica equivalente a 5.970,71 kWh/mes. La inversión realizada asciende a COP 82.250.000,00 invertidos en la reposición y remodelación de 378 m de red eléctrica por baja tensión y 261 m por red eléctrica de media tensión. En la Tabla 3 se presenta el comportamiento de las pérdidas de energía eléctrica para este caso.

<i>Periodo</i>	<i>Actual-6</i>	<i>Actual-5</i>	<i>Actual-4</i>	<i>Actual-3</i>	<i>Actual-2</i>	<i>Actual-1</i>	<i>Actual</i>
<i>% IP</i>	6,80%	-7,15%	-8,33%	-4,07%	-2,05%	-5,72%	8,80%
<i>Pérdida Inicial [kWh]</i>	5970,71	5970,71	5970,71	5970,71	5970,71	5970,71	5970,71
<i>Pérdida Final [kWh]</i>	806,78	-698,64	-798,35	-428,9	-189,07	-579,225	922,95
<i>Recuperación [kWh]</i>	5163,93	6669,35	6769,06	6399,61	6159,78	6549,935	5047,76

Tabla 3 Recuperación de energía eléctrica en un asentamiento humano urbano – estrategia de remodelación con red trenzada tipo montaje integral.

La pérdida de energía eléctrica que se obtiene al final del periodo de estudio equivale a 922,95 kWh/mes y una recuperación de energía acumulada equivalente a 37.711,66 kWh/mes que representan unos beneficios económicos de COP 38.154.928,00 con base en la gestión de recuperación de energía eléctrica no facturada, considerando el precio del kilovatio hora-mes con corte de abril-25.

En cuanto al factor de reincidencia ante la reaparición de comportamientos fraudulentos que puedan llegar a afectar nuevamente al asentamiento, la tasa de crecimiento promedio compuesta característica para este caso particular corresponde al 2% mensual, considerando la Ecuación 3.

4.4. Caso de estudio aplicado a redes trenzadas tipo Montaje Integral – asentamiento humano rural

En este caso, se requiere una estrategia de remodelación de una red eléctrica abierta aérea convencional existente en un asentamiento ubicado en el sector rural en cercanías a la ciudad de Cúcuta, implementando una red eléctrica trenzada tipo montaje integral. El asentamiento tiene 45 usuarios y una pérdida total de energía eléctrica equivalente de 2.560,5 kWh/mes. La inversión ejecutada en esta obra asciende a COP 30.510.000,00 invertida en la remodelación y reposición de 94 m de red por media tensión. El comportamiento de las pérdidas de energía eléctrica después de ejecutada la obra se muestra en la Tabla 4.

<i>Periodo</i>	<i>Actual-6</i>	<i>Actual-5</i>	<i>Actual-4</i>	<i>Actual-3</i>	<i>Actual-2</i>	<i>Actual-1</i>	<i>Actual</i>
<i>% IP</i>	11,24%	14,64%	10,12%	10,54%	16,26%	2,99%	13,85%
<i>Pérdida Inicial [kWh]</i>	2560,15	2560,15	2560,15	2560,15	2560,15	2560,15	2560,15
<i>Pérdida Final [kWh]</i>	686,65	1009,72	622	636,24	1038,35	175,74	697,12
<i>Recuperación [kWh]</i>	1873,5	1550,43	1938,15	1923,91	1521,8	2384,41	1863,03

Tabla 4 Recuperación de energía eléctrica en un asentamiento humano rural – estrategia de remodelación con red trenzada tipo montaje integral.

La pérdida de energía eléctrica que se obtiene al final del periodo de estudio equivale a 697,12 kWh/mes y una recuperación de energía acumulada de 11.192,2 kWh/mes que representan unos beneficios económicos de COP 11.323.753,00 con base en la gestión de recuperación

de energía eléctrica no facturada, considerando el precio del kilovatio hora-mes con corte de abril-25.

En cuanto al factor de reincidencia ante la reaparición de comportamientos fraudulentos que puedan llegar a afectar nuevamente al asentamiento, la tasa de crecimiento promedio compuesta característica para este caso particular corresponde al 0,22% mensual, considerando la Ecuación 3.

4.5. Caso de estudio aplicado a intervención de redes trenzadas subterráneas

La intervención de una red eléctrica ubicada en un conjunto residencial en el sector urbano de la ciudad de Cúcuta corresponde a este caso de estudio. La red eléctrica de distribución por baja tensión se encuentra bajo tierra dentro de ductos subterráneos. La red tiene 42 usuarios de los cuales el 95% tiene servicio de energía trifásica y presenta una pérdida de energía eléctrica equivalente a 9.746 kWh/mes. En la intervención, se instalaron dos equipos de medida llamados macro-puntos, cumpliendo una función similar a la de un macro-medidor pero en este caso, se encargan de registrar la energía eléctrica en un ramal en particular para luego realizar un nuevo balance de energía eléctrica de forma manual para identificar los tramos de red en los que se pueda estar presentando pérdidas del fluido eléctrico. Una vez realizada la sectorización de las pérdidas de energía eléctrica, se procedió con el operativo de labores de normalización asegurando una mayor efectividad. El comportamiento de las pérdidas de energía obtenido tras la intervención se presenta en la Tabla 5.

<i>Periodo</i>	<i>Actual-6</i>	<i>Actual-5</i>	<i>Actual-4</i>	<i>Actual-3</i>	<i>Actual-2</i>	<i>Actual-1</i>	<i>Actual</i>
<i>% IP</i>	22,34%	20,81%	12,67%	13,76%	12,30%	9,37%	9,83%
<i>Pérdida Inicial [kWh]</i>	9746	9746	9746	9746	9746	9746	9746
<i>Pérdida Final [kWh]</i>	8807	8077	3953	4715	4577	3206	3206
<i>Recuperación [kWh]</i>	939	1669	5793	5031	5169	6540	6540

Tabla 5 Recuperación de energía eléctrica en un conjunto residencial – estrategia de intervención de red trenzada subterránea.

La pérdida de energía eléctrica obtenida luego del periodo de estudio equivale a 3.206 kWh/mes y una recuperación de energía acumulada de 25.141 kWh/mes representando unos

beneficios económicos de COP 25.436.507,00 con base en la gestión de recuperación de energía eléctrica no facturada por precio del kilovatio hora-mes con corte de abril-25.

En cuanto al factor de reincidencia ante la reaparición de comportamientos fraudulentos que puedan llegar a afectar nuevamente al conjunto residencial, la tasa de crecimiento promedio compuesta característica para este caso particular corresponde al -13% mensual, considerando la Ecuación 3.

4.6. Caso de estudio aplicado a redes con aplicación de tecnologías AMI

Uno de los sectores seleccionados para implementación de plan piloto del proyecto AMI se encuentra ubicado en zona urbana de la ciudad de Cúcuta y tiene 40 usuarios. Las pérdidas de energía eléctrica equivalente a 5.138,51 kWh/mes. La inversión ejecutada en esta obra asciende a los COP 27.000.000,00 y corresponde a las labores de reposición de 278 m de red de baja tensión y 100 m de red de media tensión, pero adicional a estos costos operativos, surgen otros costos debidos a la construcción de una red avanzada, para incorporar un software especializado que se encargue de la recepción, almacenamiento y procesamiento de los datos provenientes de los equipos de los medidores avanzados y su respectivo soporte técnico durante un periodo determinado evaluados en aproximadamente COP 3.000.000.000,00. La Tabla 6 presenta el comportamiento de las pérdidas totales de energía eléctrica obtenido luego de la implementación de la estrategia en el sector.

<i>Periodo</i>	<i>Actual-6</i>	<i>Actual-5</i>	<i>Actual-4</i>	<i>Actual-3</i>	<i>Actual-2</i>	<i>Actual-1</i>	<i>Actual</i>
<i>% IP</i>	29,85%	41,58%	9,83%	11,26%	11,06%	3,24%	5,71%
<i>Pérdida Inicial [kWh]</i>	5138,51	5138,51	5138,51	5138,51	5138,51	5138,51	5138,51
<i>Pérdida Final [kWh]</i>	5137,88	8533,38	1342,17	1454,22	1454	426	717,09
<i>Recuperación [kWh]</i>	0,63	-3394,87	3796,34	3684,29	3684,51	4712,51	4421,42

Tabla 6 Recuperación de energía eléctrica en un circuito urbano – estrategia de remodelación de red con aplicación de tecnologías AMI.

Luego de la remodelación y aplicación de tecnologías AMI, la pérdida de energía eléctrica que se presenta en la red de distribución pasado el periodo de estudio es de 717,09 kWh/mes y una recuperación de energía eléctrica no facturada de 12,483.4 kWh/mes que representan

unos beneficios económicos de COP 12.630.140,00 con base en la gestión de recuperación de energía eléctrica no facturada por precio del kilovatio hora-mes con corte de abril-25.

En cuanto al factor de reincidencia ante la reaparición de comportamientos fraudulentos que puedan llegar a afectar nuevamente a la zona urbana, la tasa de crecimiento promedio compuesta característica para este caso particular corresponde al -25% mensual, apoyándonos en la Ecuación 3.

CONCLUSIONES

Algunas de las bondades de la construcción de circuitos eléctricos con redes trenzadas convencionales en territorio urbano y rural radica en la seguridad física y el grado de blindaje de las redes de cara a aquellos clientes no legales en situación de cercanía a las redes de distribución, explorando uno de los inconvenientes que se viene presentando cada vez con mayor frecuencia en la región atribuida a la construcción de nuevas viviendas con evidentes incumplimientos en las distancias de seguridad establecidas en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, llegando incluso a encontrar viviendas habitadas ubicadas justo debajo de la red de baja tensión, condicionando la posibilidad de legalización del servicio eléctrico y provocando que los recorridos de control y las campañas de concientización al cliente que se tengan que programar por CPEE sean cada vez mayores. En aquellos circuitos eléctricos ubicados en zona urbana para los que las manipulaciones de la red de distribución se tornan mas intensas, se han venido ejecutando proyectos de remodelación que utilizan cable trenzado tipo trébol, que consta del mismo cable trenzado, pero en esta ocasión contenido en una capa adicional de material aislante.

En aquellos sectores afectados por la presencia de asentamientos humanos, la estrategia principal con la que se propone reducir las pérdidas de energía eléctrica corresponde a la remodelación de la red de distribución a una de tipo montaje integral, estrategia en la cual, la totalidad de los medidores de un circuito eléctrico se encuentran contenidos en una serie de gabinetes metálicos concentrados en la parte alta del poste en que se sitúa el transformador de distribución, los repetidores de estos medidores son instalados al interior de cada una de las viviendas que compone el circuito eléctrico; esta medida trae consigo un alto grado de blindaje a la red de distribución. Los puntos por mejorar en esta estrategia están orientados a la complejidad en las maniobras de mantenimiento y el constante crecimiento de estos sectores, haciendo que la cantidad de gabinetes llegue a ser insuficiente para atender la demanda y, por ende, aparezcan nuevamente las pérdidas de energía eléctrica.

La identificación de pérdidas de energía eléctrica en circuitos eléctricos construidos en red trenzada subterránea haciendo uso de los equipos de detección macro-punto resulta conveniente a la hora de intervenir circuitos con configuración radial, ya que los balances de energía eléctrica resultantes (sean automáticos por uso de software especializado o manual mediante toma de lectura convencional) no se ven afectados por los flujos de energía provenientes de nodos compartidos, y se torna complejo al momento de analizar redes eléctricas con configuración anillada, en cuyo caso se recomienda el uso de software especializado.

En el caso particular de CENS grupo EPM, la mayor parte de red trenzada subterránea se encuentra en conjuntos residenciales, que en los últimos años han representado una fuente de inconvenientes para el personal operativo al servicio del CPEE, al impedirles el acceso libre y oportuno a las redes eléctricas durante los procedimientos de diagnóstico y verificación de circuitos con altas pérdidas de energía eléctrica, lo cual impide que se pueda realizar una intervención de manera sorpresiva, teniendo que acudir a soluciones legales adicionales basadas en el cumplimiento del contrato con condiciones uniformes vigente.

Tomando como punto de comparación, la posibilidad de reincidencia luego de haber intervenido un circuito eléctrico con las diferentes estrategias mencionadas en este documento, la mayor probabilidad de reincidencia ante la aparición de forma reiterada de altas pérdidas de energía eléctrica se presenta en la estrategia de remodelación y/o reposición de red trenzada, soportados en los datos recopilados y tabulados. La tasa de crecimiento promedio compuesta relacionada a la pérdida total de energía eléctrica final, equivale al 11% mensual, por otra parte, los índices de reincidencia más bajos se atribuyen a la estrategia de aplicación de soluciones AMI con una tasa del -25% mensual y la estrategia de intervención y remodelación de red trenzada subterránea con una tasa del -13% mensual. Una tasa de crecimiento promedio con valor negativo nos indica que conforme van pasando los meses, la estrategia ha venido mostrando mejores resultados y, por consiguiente, disminuyendo las pérdidas de energía eléctrica.

Ahora bien, considerando la relación entre el costo de implementación y los beneficios económicos obtenidos para cada una de las estrategias objeto de estudio en este documento, resulta más conveniente la implementación de estrategias basadas en la remodelación de red por una de tipo trenzado, con una tasa de retorno de inversión promedio del 105% en un periodo de 7 meses; así mismo, la estrategia más costosa y la que presenta la tasa de retorno de inversión promedio más baja se atribuye a los proyectos con aplicación de tecnologías AMI, con un 0,42% durante el mismo periodo de 7 meses, puesto que la inversión inicial incluye gastos por adquisición de software especializado para la recepción, almacenamiento y tratamiento de datos obtenidos de cada uno de los medidores avanzados utilizados en la red eléctrica piloto, no obstante, si la estrategia basada en AMI llegara a aplicarse en más redes eléctricas de distribución, se vería un crecimiento positivo en la tasa de retorno teniendo en cuenta que los gastos por adquisición de software representan un cargo fijo por un periodo determinado.

Desde el punto de vista del reconocimiento a los operadores de red (OR) por concepto de unidades constructivas gestionadas dentro de una vigencia anual, medida por la cual se busca incentivar la eficiencia en las inversiones de infraestructura eléctrica siempre y cuando se cumpla con los criterios y procedimientos establecidos por la CREG, resulta menos conveniente para CENS grupo EPM realizar estrategias basadas en red trenzada tipo montaje integral, ya que el tipo de cable conductor utilizado para ejecutar esta estrategia no se encuentra reconocida en la lista de unidades constructivas, influyendo en gran medida en la toma de decisiones frente a la estrategia a implementar ante la necesidad de ejecutar una labor de remodelación o reposición de las redes eléctricas con altas pérdidas de energía.

La calidad de los datos obtenidos y presentados en este documento se encuentran sujetos a la precisión de los equipos de macro-medición encargados de registrar el despacho de energía eléctrica a la red secundaria del transformador de distribución en estudio. Otro aspecto por considerar es la adecuada asociación de la medida de energía eléctrica de los usuarios que representan la carga vista por la red eléctrica y la garantía de tener tanto a los usuarios como el equipo de macro-medición dentro de un mismo ciclo de facturación que garantice una toma de lecturas sincronizadas en los circuitos de estudio. En este aspecto, se evidencian las ventajas que ofrece la aplicación de estrategias con AMI al incluir dentro de sus capacidades alternativas para dar modificar los modelos tarifarios y de facturación actuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. N. I. E. H. Marques, «Detection and localisation of non-technical losses in low voltage distribution networks».
- [2] S. N. F. M. M. Yorukoglu, «The effect of the types of network topologies on non-technical losses in secondary electric distribution systems,» 2016.
- [3] A. R. S. Chauhan, «Non-technical losses in power system: a review,» de *International conference on power, energy and control (ICPEC)*, India, 2013.
- [4] J. A. M. W. C. a. Vico, «High impedance fault detection on rural electric distribution systems,» de *Proc. Rural Electric Power Conference (REPC)*, Orlando, 2010.
- [5] F. Jamil, «On the electricity shortage, price and electricity theft nexus,» *Energy policy*, pp. Vol 54 pp. 267-272, 2013.
- [6] OLADE, ADELAT, & BID, «Economía de las Pérdidas Eléctricas en América Latina y el Caribe,» 24 Abril 2025. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=idtrJMbxi9Q>.
- [7] C. g. EPM, «Informe de Sostenibilidad,» Cúcuta, 2024.