

ANÁLISIS DE SAIDI-SAIFI EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA-COLOMBIA.

Jorge D. Melo Bolier, Daniel F. Aragonés Vargas
Jorge.melo@upr.edu Danielfelipe.aragones@upr.edu
 Geología, Facultad de Geología,
 Universidad de Puerto Rico

Resumen- En Colombia, los indicadores de calidad del servicio eléctrico incluyen el SAIDI y el SAIFI. El SAIDI mide el tiempo promedio de interrupción del servicio eléctrico por cliente en un periodo determinado (en horas o minutos), mientras que el SAIFI cuantifica la frecuencia promedio de interrupciones por cliente en ese mismo periodo. Ambos reflejan la duración y frecuencia de las interrupciones del suministro eléctrico.

En este proyecto, se presenta un análisis de los indicadores **SAIDI** y **SAIFI** para el operador de red ElectroHuila, correspondiente al año 2023. Estos indicadores representan un incentivo clave para las empresas de energía, ya que su desempeño puede resultar en ganancias adicionales o devoluciones tarifarias a los usuarios. Por lo tanto, es crucial que los Operadores de Red (OR) se enfoquen en las áreas donde se registren mayores concentraciones de valores de **SAIDI** y **SAIFI**, con el propósito de desarrollar planes de mantenimiento o estrategias de inversión que contribuyan a reducir estos indicadores. La información utilizada para este análisis fue obtenida de los informes oficiales de ElectroHuila y las publicaciones de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).

I. INTRODUCCIÓN

El análisis del desempeño del sistema eléctrico en el departamento del Huila es esencial para garantizar un suministro de energía confiable y eficiente. Utilizando herramientas como ArcGIS, se pueden representar geográficamente los transformadores de distribución y sus respectivos indicadores de calidad, como el SAIDI (Duración Promedio de Interrupción por Usuario) y el SAIFI (Frecuencia Promedio de Interrupción por Usuario). Estas visualizaciones permiten identificar áreas críticas y patrones de interrupciones en la red eléctrica.

A continuación, se muestran las fórmulas para calcular los indicadores de SAIDI y SAIFI

$$SAIDI_{j,t} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \frac{D_{i,u,m} * NU_{i,u,m}}{UT_{j,m}} * 60$$

$$SAIFI_{j,t} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \frac{NU_{i,u,m}}{UT_{j,m}}$$

REPRESENTACIÓN DE VARIABLES:

SAIFI {i,t}: Indicador de frecuencia promedio por usuario, de los eventos sucedidos en el SDL del OR j, durante el año t, medido en cantidad al año.

SAIDI {i,t}: Indicador de duración promedio por usuario, de los eventos sucedidos en el SDL del OR j, durante el año t, medido en horas al año.

UN {i,u,m}: Número de usuarios que fueron afectados por el evento i sucedido durante el mes mm, por encontrarse conectados al activo u.

UT {i,t}: Número total de usuarios conectados al SDL del OR j en el mes m.

m: Mes del año t, con enero = 1, ..., diciembre = 12.

D {i,u,m}: Duración en minutos del evento i, sucedido durante el mes mm, que afectó al activo u perteneciente al SDL del OR j.

Por otro lado, para hallar los valores monetarios de estos mismos se utilizan las siguientes formulas:

$$IC_SAIFI_{(j,t)} = [If_SAIFI]_{(j,t)} + [Iv_SAIFI]_{(j,t)}$$

$$IC_SAIDI_{(j,t)} = [If_SAIDI]_{(j,t)} + [Iv_SAIDI]_{(j,t)}$$

REPRESENTACIÓN DE VARIABLES:

IC_SAIDI_{j,t}: Incentivo de calidad por duración de eventos, aplicable al OR *j* durante el año *t* del periodo tarifario, expresado en pesos de la fecha de corte.

If_SAIDI_{j,t}: Incentivo fijo por duración de eventos, que obtiene el OR *j*, durante el año *t* del periodo tarifario, expresado en pesos de la fecha de corte.

Iv_SAIDI_{j,t}: Incentivo variable por duración de eventos, que obtiene el OR *j*, durante el año *t* del periodo tarifario, expresado en pesos de la fecha de corte.

IC_SAIFI_{j,t}: Incentivo de calidad por frecuencia de eventos, aplicable al OR *j*, durante el año *t* del periodo tarifario.

If_SAIFI_{j,t}: Incentivo fijo por frecuencia de eventos, que obtiene el OR *j*, durante el año *t* del periodo tarifario.

Iv_SAIFI_{j,t}: Incentivo variable por frecuencia de eventos, que obtiene el OR *j*, durante el año *t* del periodo tarifario.

La siguiente tabla presenta los montos monetarios, expresados en dólares, que la empresa debió pagar como penalidades por incumplimientos en los indicadores de SAIDI y SAIFI.

Año	IC_SAIDI	IC_SAIFI
2019	1.341.175,29	2.127.505,30
2020	793.402,26	966.251,71
2021	646.225,38	966.251,71
2022	520.991,80	288.708,04
2023	295.300,81	450.942,99
Total	3.006.493,91	3.320.357,69

Tabla 1. Incentivos (USD) para años 2019-2023

Año	2019	2020	2021	2022	2023
SAIFI Mj:	13,14	12,08	11,12	10,23	9,41
SAIFI_{j,t-1}	29,44	34,34	28	9,35	6,61

Tabla 2. Limites y valores reales de SAIFI

Año	2019	2020	2021	2022	2023
SAIDI Mj	34,305	31,56	29,03	26,71	24,5
SAIDI_{j,t-1}	42,73	54,07	41,72	29,84	24,3

Tabla 3. Limites y valores reales de SAIDI

Por otro lado, la información cartográfica utilizada en este análisis fue obtenida del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la entidad oficial de Colombia responsable de producir y suministrar información geográfica, cartográfica y catastral. El IGAC desempeña un papel fundamental en la planificación territorial y el desarrollo sostenible, generando mapas y datos precisos que apoyan diversos sectores como infraestructura, agricultura, medio ambiente y energía. Su labor garantiza la disponibilidad de información confiable, lo que resulta esencial para la toma de decisiones estratégicas en estos ámbitos.

En este proyecto, los mapas cartográficos descargados del portal oficial del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) se utilizaron como base para la representación geográfica. Estos mapas, integrados con datos operativos en ArcGIS, permitieron analizar la distribución de los transformadores y los indicadores SAIDI y SAIFI, identificando con precisión las áreas críticas. La calidad y el detalle de la información proporcionada por el IGAC fueron esenciales para garantizar un análisis espacial efectivo, lo que a su vez facilitó la planificación estratégica y la toma de decisiones informadas.



Imagen 1. Mapa de Colombia IGAC

En este contexto, la representación en ArcGIS proporciona una herramienta clave para la toma de decisiones estratégicas, al facilitar la identificación de transformadores críticos y su relación con el cumplimiento de las metas regulatorias. Este enfoque combina análisis técnico y geográfico para optimizar los recursos, mejorar la calidad del servicio y evitar sanciones regulatorias.

La representación en ArcGIS no solo facilita la identificación de transformadores y veredas con mayores índices de interrupciones, sino que también permite cruzar esta información con datos geográficos,

socioeconómicos y demográficos del departamento. Este enfoque holístico ayuda a priorizar proyectos de inversión, identificar oportunidades de mejora y alinear las operaciones de las empresas distribuidoras con los estándares regulatorios.

Los datos de SAIDI y SAIFI utilizados en este análisis fueron proporcionados por el operador de red, quien también compartió un archivo en formato shapefile que contiene la ubicación geográfica de los transformadores. Esta información fue integrada en un entorno de análisis espacial utilizando ArcGIS, permitiendo relacionar los valores de los indicadores con la distribución geográfica de los transformadores. Este enfoque facilitó la identificación de áreas críticas, ofreciendo una base sólida para proponer estrategias de mantenimiento e inversión orientadas a mejorar la calidad del servicio eléctrico.

II. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS

A. Metodología

El análisis se llevó a cabo mediante el uso de herramientas de sistemas de información geográfica (GIS) y bases de datos, permitiendo integrar y visualizar información geoespacial y operativa relacionada con el desempeño de los transformadores de distribución en el departamento del Huila y regiones aledañas. A continuación, se detallan los pasos metodológicos:

Funciones Clave Utilizadas en ArcGIS

1. Merge (Combinar)

La herramienta Merge se emplea para combinar varias capas o tablas de datos en una sola, siendo especialmente útil cuando se trabaja con conjuntos de datos con estructuras similares. En este proyecto, Merge se utilizó para consolidar las capas de transformadores eléctricos provenientes de diferentes regiones, como Huila, Tolima, Cauca y Caquetá, creando una única capa integrada. Esto permitió analizar el comportamiento de todos los transformadores como un conjunto unificado, facilitando una visión integral del sistema eléctrico.



Imagen 2. Cascos Urbanos de Colombia IGAC

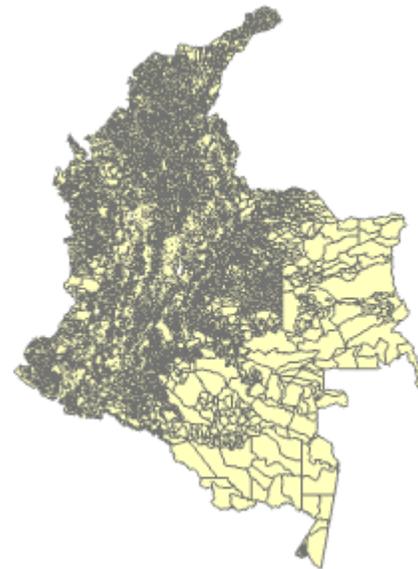


Imagen 3 veredas de Colombia



Imagen 4. Departamento de Colombia

2. Spatial Join (Unión Espacial)

La herramienta Spatial Join en ArcGIS permite combinar dos capas de datos basándose en su relación espacial. Es particularmente útil para relacionar información de distintas fuentes en función de su ubicación geográfica.

Cómo se utilizó en el proyecto:

En este análisis, Spatial Join se utilizó para asociar los transformadores eléctricos con las veredas de los departamentos de Huila, Tolima, Cauca y Caquetá. Este proceso permitió relacionar cada transformador con su ubicación administrativa específica, facilitando un análisis más detallado de cómo las condiciones geográficas y administrativas influyen en el desempeño de los indicadores SAIDI y SAIFI.

Además, esta asociación permitió identificar patrones regionales en la distribución de los transformadores y las áreas donde se presentan mayores desafíos en la calidad del servicio eléctrico. Al integrar esta información con otros datos geográficos, como redes eléctricas y subestaciones, se obtuvo una representación más completa del sistema eléctrico, lo que resultó esencial para priorizar estrategias de mantenimiento e inversión en las áreas más críticas.

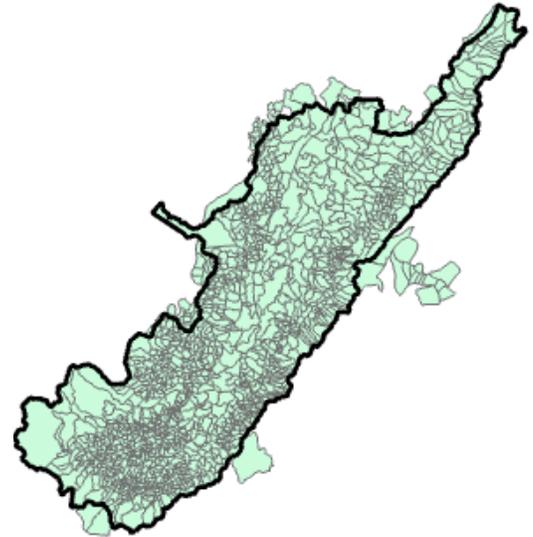


Imagen 5. Veredas con presencia de transformadores del OR EH

3. Symbology (Simbología)

La simbología es una herramienta clave en el análisis geográfico, ya que permite visualizar los datos de manera clara y comprensible mediante la asignación de colores, tamaños y estilos a los elementos según sus atributos. En este análisis, se utilizó la herramienta Symbology para clasificar visualmente los transformadores eléctricos en función de su nivel de criticidad, determinado por los valores de SAIDI y SAIFI.

Los transformadores con valores altos de SAIDI y SAIFI, indicativos de mayor criticidad, fueron representados con colores cálidos, como rojo y naranja. Por otro lado, los valores bajos, que reflejan mejor desempeño, se visualizaron con colores fríos, como azul y verde. Esta clasificación visual facilitó la identificación inmediata de los puntos críticos en el sistema eléctrico, permitiendo priorizar las áreas que requieren atención urgente en términos de mantenimiento e inversión. La simbología, por lo tanto, fue fundamental para interpretar y comunicar los resultados de manera eficiente.

En este proyecto, se aplicó el método de Rupturas Naturales de Jenks para clasificar los transformadores eléctricos en función de sus valores de SAIDI y SAIFI. Este método permitió identificar y visualizar de manera efectiva los transformadores más críticos, destacando su impacto relativo en comparación con el resto. El proceso se llevó a cabo en las siguientes etapas:

1. Preparación de los datos:

- Se seleccionaron los valores de SAIDI y SAIFI correspondientes a cada transformador de la base de datos importada a ArcGIS.
- Los datos fueron evaluados cuidadosamente para garantizar que representaran de manera precisa la variación en la calidad del servicio eléctrico, eliminando posibles inconsistencias o valores atípicos.

2. Clasificación con Jenks:

Se utilizó la herramienta de clasificación Natural Breaks (Jenks) en ArcGIS para dividir los valores de SAIDI y SAIFI en cinco clases: desde "muy bajo" hasta "muy alto". Esta clasificación permitió agrupar los datos de forma que reflejaran de manera óptima las variaciones naturales entre los transformadores, asegurando que cada clase tuviera una significancia estadística en la distribución de los datos. El resultado de esta clasificación facilitó una representación visual clara en los mapas, destacando los transformadores con valores críticos (clasificados como "muy alto"). Esto resultó esencial para identificar áreas prioritarias donde el desempeño del servicio eléctrico requiere mejoras inmediatas, contribuyendo así a una mejor planificación y toma de decisiones estratégicas.

Ventajas del Método Jenks en el Proyecto

Patrones Claros: Identificó patrones de distribución natural en los datos, evitando clasificaciones arbitrarias.
Enfoque en Prioridades: Ayudó a priorizar transformadores críticos con valores extremos, lo que permitió tomar decisiones más informadas sobre inversiones y estrategias de mantenimiento.

Representación Visual Efectiva: Mejoró la comprensión del estado del sistema eléctrico para diferentes audiencias, desde técnicos hasta responsables de políticas.

4. Make Feature Layer (Crear Capa de Entidades)

La herramienta Make Feature Layer en ArcGIS permite convertir tablas o conjuntos de datos espaciales, como shapefiles o geodatabases, en capas temporales que pueden ser utilizadas para análisis y visualización dentro del proyecto. Aunque estas capas no son permanentes, ofrecen una base flexible para aplicar filtros, realizar análisis específicos o exportar resultados según las necesidades del estudio.

En este proyecto, se utilizó Make Feature Layer para crear capas temporales de transformadores eléctricos

basadas en datos clave como su ubicación geográfica, valores de SAIDI y SAIFI, y las causas de fallas asociadas. Esta herramienta facilitó varias tareas fundamentales para el análisis:

- **Filtrado de transformadores específicos:** Se identificaron transformadores con valores críticos de SAIDI y SAIFI, permitiendo priorizar aquellos que requerían atención inmediata.
- **Análisis focalizados:** Se analizaron subconjuntos de datos, como transformadores ubicados exclusivamente en el departamento del Huila o en regiones aledañas, optimizando el enfoque del estudio en áreas de interés.

El uso de esta herramienta fue esencial para gestionar grandes volúmenes de información, proporcionando flexibilidad en la exploración y análisis de los datos sin comprometer la integridad del conjunto original. Esto contribuyó significativamente a la identificación de patrones y áreas críticas en el sistema eléctrico.

5. Export Features (Exportar Entidades)

La herramienta Export Features en ArcGIS permite guardar una capa o un subconjunto de datos como un archivo permanente, ya sea en formato shapefile o como una capa dentro de una geodatabase. Esta funcionalidad es especialmente útil para almacenar los resultados de análisis previos o filtrar datos relevantes que serán utilizados en procesos futuros.

En este proyecto, después de identificar transformadores críticos mediante herramientas como Make Feature Layer o análisis espaciales, los datos resultantes se guardaron utilizando Export Features. En particular, se generó un shapefile independiente que incluía transformadores con valores altos de SAIDI y SAIFI en el departamento del Huila.

Esta exportación fue crucial por varias razones:

- **Documentación de resultados:** Los datos críticos quedaron registrados de manera permanente, garantizando su disponibilidad para consultas posteriores.
- **Facilidad de colaboración:** Los shapefiles generados fueron compartidos con otros equipos, facilitando la integración de los resultados en informes y mapas personalizados.
- **Soporte para análisis futuros:** La exportación permitió reutilizar la información en procesos adicionales, asegurando que los resultados pudieran ser ampliados o refinados según las necesidades del proyecto.

El uso de Export Features contribuyó significativamente a estructurar y preservar los hallazgos del análisis, asegurando su utilidad para diferentes aplicaciones estratégicas.

6. Summarize Statistics (Resumen de Estadísticas)

La herramienta Summarize Statistics en ArcGIS se utiliza para calcular estadísticas descriptivas, como suma, promedio, máximo, mínimo o recuento, a partir de los valores de un campo seleccionado en una capa o tabla. Es una herramienta fundamental para resumir datos y detectar patrones relevantes en los análisis espaciales.

En este proyecto, Summarize Statistics se empleó para evaluar el desempeño de los transformadores eléctricos en términos de los indicadores SAIDI y SAIFI, permitiendo obtener un resumen detallado de los datos clave. Los resultados más destacados incluyeron:

- **Estadísticas descriptivas de SAIDI y SAIFI:** Se calcularon el promedio y el valor máximo de estos indicadores, tanto a nivel individual por transformador como agregados por región. Esto facilitó la identificación de las áreas con mayor impacto en la calidad del servicio eléctrico.

El uso de esta herramienta permitió detectar patrones y áreas críticas de manera eficiente, proporcionando una base sólida para priorizar estrategias de mantenimiento y mejora en el sistema eléctrico. Los resultados resumidos también sirvieron como insumo para la creación de reportes y visualizaciones que respaldaron la toma de decisiones informadas.

La estructura de la metodología consta de los siguientes pasos:

1. Recopilación y Organización de Datos

Se inició el proyecto consolidando la información de los transformadores eléctricos en una base de datos organizada en Excel. Los datos recopilados incluyeron:

- Ubicación geográfica: Coordenadas de latitud y longitud de cada transformador.
- Indicadores SAIDI y SAIFI: Duración promedio (SAIDI) y frecuencia promedio (SAIFI) de las interrupciones del servicio eléctrico.
- Número de fallas: Total de fallas registradas durante el año 2023.
- Detalles de las fallas: Causas específicas y la duración de cada interrupción.

Paralelamente, se descargaron mapas base cartográficos proporcionados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), que incluyeron información geográfica detallada de los departamentos de Huila, Tolima, Cauca y Caquetá. Estos mapas se integraron con los datos de los transformadores para contextualizar espacialmente las interrupciones y los indicadores de calidad del servicio.

Id	Origen	Verif	Eventos	Hombres-CC	Linea-Eventos	Causa	Causa-Agrupada	SAIDI	SAIFI	Numero	Grupos	Subestacion	Cap-Capital	Poligonos	Municipio	Zona	Destino
700002	18.01	1	70070	3376	13170	27	WIDE	0.000002	0.000002	ECOP	BOLE-BOLE 2	EL-BOLE	SI-R	PALESTRO	Norte	Norte	
700002	236.4031	1	80042	0	0.000002	39	FALLA	0.000002	0.000004	ECOP	BOLE-BOLE 2	EL-BOLE	SI-R	PALESTRO	Norte	Norte	
700002	128.1249	1	70256	0	0.000004	39	FALLA	0.000002	0.000002	ECOP	BOLE-BOLE 2	EL-BOLE	SI-R	PALESTRO	Norte	Norte	
700002	98	1	70077	3016	12083	39	FALLA	0.000002	0.000004	ECOP	BOLE-BOLE 2	EL-BOLE	SI-R	PALESTRO	Norte	Norte	
700002	45.3	1	70054	2827	12027	27	WIDE	0.000002	0.000004	ECOP	BOLE-BOLE 2	EL-BOLE	SI-R	PALESTRO	Norte	Norte	

Imagen 6. Base de datos SAIDI-SAIFI OR EH

2. Integración de Datos en ArcGIS

Se creó un proyecto en ArcGIS configurando el sistema de referencia espacial WGS 1984 debido a que la capa compartida de transformadores por parte del OR estaba en sistema de coordenadas mencionado anteriormente, con esto se garantiza la correcta representación geográfica.

Los mapas base del IGAC fueron cargados al proyecto como referencia inicial, permitiendo la visualización del territorio del Huila y sus departamentos vecinos.

Los datos de la base de Excel se importaron a ArcGIS, y se generó una capa de puntos que representaba la ubicación exacta de los transformadores con base en sus coordenadas geográficas.

3. Análisis espacial por transformador

Se desarrollaron capas temáticas para clasificar los transformadores eléctricos en función de los indicadores SAIDI y SAIFI, lo que facilitó una representación visual clara y efectiva. Por ejemplo, los transformadores con altos valores de SAIDI, que indican una mayor duración de las interrupciones, se representaron con colores cálidos como rojo, mientras que aquellos con menor impacto se visualizaron en colores fríos como azul.

Esta clasificación permitió identificar de manera inmediata los transformadores críticos, es decir, aquellos con mayor frecuencia o duración de interrupciones en el servicio eléctrico. Adicionalmente, se añadieron etiquetas a cada punto para proporcionar información complementaria, como el número total de fallas registradas y la causa principal de las interrupciones.

Estas capas temáticas y etiquetas enriquecieron significativamente el análisis, facilitando la priorización de transformadores críticos y la planificación de estrategias de mantenimiento y mejora.

Los resultados se presentaron a los responsables del proyecto, destacando las oportunidades de mejora y optimización en la red eléctrica.

Transformador	SAIDI	Porcentaje
T08681	0.0688565	0.2833%
T08148	0.0646268	0.2659%
T11640	0.0628957	0.2588%
T06054	0.0507376	0.2088%
T10464	0.048534	0.1997%
T14143	0.0473968	0.1950%
Total		1.4117%

Tabla 4. Top de transformadores con mayor índice de SAIDI 2023

Transformador	SAIFI	Porcentaje
T03994	0.0091755	0.139%
T03995	0.0089615	0.136%
T15979	0.0086201	0.130%
T00809	0.0085754	0.130%
T03933	0.0071927	0.109%
T03996	0.0067682	0.102%
T04076	0.0063873	0.097%
T07541	0.0063105	0.096%
T07795	0.0062823	0.095%
Total		1.033%

Tabla 5. Top de transformadores con mayor índice de SAIFI 2023

El análisis destacó cómo las interrupciones en el suministro eléctrico no solo afectan la confiabilidad del sistema, sino que también generan pérdidas económicas significativas, tanto para la empresa distribuidora como para los usuarios. Este impacto económico refuerza la importancia de adoptar estrategias integrales que combinen tecnología, planeación geoespacial y cumplimiento normativo.

III. CONCLUSIONES

- El análisis del desempeño de los transformadores de distribución en el departamento del Huila, apoyado por herramientas como ArcGIS y bases de datos operativas, ofrece una visión integral del estado del sistema eléctrico

y su impacto en la calidad del servicio. La visualización geoespacial permitió identificar áreas críticas y patrones de interrupciones, destacando los transformadores con mayores índices de SAIDI y SAIFI, así como las causas más comunes de fallas.

- El proyecto subraya la importancia de cumplir con los estándares regulatorios establecidos por la CREG, no solo para evitar penalizaciones económicas, sino también para garantizar un suministro confiable y continuo a los usuarios. Las metas regulatorias actúan como un incentivo para que las empresas distribuidoras, como Electro huila, implementen mejoras en su infraestructura y adopten estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo.
- El análisis mostró que las interrupciones tienen un impacto económico significativo, tanto para la empresa como para los usuarios. Los costos asociados a las fallas incluyen reparaciones, multas regulatorias y pérdidas económicas para las actividades comerciales, industriales y residenciales. Este impacto refuerza la necesidad de priorizar la inversión en modernización tecnológica, monitoreo constante y una gestión más eficiente de los activos eléctricos.
- El análisis del desempeño de los transformadores en el Huila, apoyado por herramientas geoespaciales como ArcGIS, es clave para desarrollar planes de inversión y mantenimiento efectivos. Identificar transformadores críticos con altos índices de SAIDI y SAIFI permite priorizar intervenciones en infraestructura, reducir el impacto económico de las fallas y garantizar el cumplimiento de los estándares regulatorios de la CREG. Este enfoque estratégico mejora la calidad del servicio eléctrico y fortalece la sostenibilidad operativa de la empresa.

En conclusión, el uso de herramientas como ArcGIS combinado con datos operativos y análisis económico permite tomar decisiones estratégicas más informadas, optimizar los recursos disponibles y mejorar la calidad del servicio eléctrico en el Huila. Este enfoque no solo beneficia a la empresa distribuidora al cumplir con los estándares regulatorios, sino que también asegura un servicio más confiable para los usuarios, promoviendo la sostenibilidad económica y operativa del sistema eléctrico en el departamento y sus alrededores.

BIBLIOGRAFÍA

1. Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), "Resolución CREG 015 de 2018: Normativa

sobre calidad del servicio eléctrico en Colombia,"
CREG, Bogotá, Colombia, 2018.

2. ESRI, *ArcGIS Pro: A Complete Guide to GIS Mapping and Analysis*, ESRI, 2021. [Online]. Available: <https://www.esri.com>

3. Electrohuila S.A. E.S.P., "Informe Anual de Calidad del Servicio Eléctrico 2023," Neiva, Colombia, 2023.

4. A. Gómez y C. Rodríguez, "Análisis de SAIDI y SAIFI en la calidad del servicio eléctrico en Colombia," *Revista Energía y Sociedad*, vol. 15, no. 3, pp. 45–55, 2021.

5. C. R. Thieler, E. A. Himmelstoss, J. L. Zichichi, and G. A. Ergul, "Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change," U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278, 2009. [Online]. Available: <https://pubs.usgs.gov/of/2008/1278>

6. A. M. Finkl and C. Makowski, "Coastal Hazards," in *Encyclopedia of Coastal Science*, 2nd ed., Springer, 2018, pp. 215–223. doi: 10.1007/978-3-319-48657-4_126.