

## TOMA DE DECISIONES EMPRESARIALES BASADAS EN LA FOCALIZACIÓN DE CRITICIDAD

Alejandro Gomez Gallego

Carlos Mario Peláez Hoyos

[Alejandro.a.gomez@edeq.com.co](mailto:Alejandro.a.gomez@edeq.com.co); [carlos.pelaez@edeq.com.co](mailto:carlos.pelaez@edeq.com.co)

Armenia, Quindío – Colombia

### I. Resumen

En el proceso de madurez y evolución de su sistema de gestión de activos, la Empresa de Energía del Quindío (EDEQ) reafirma su compromiso con la mejora continua de sus procesos y prácticas operativas. Este enfoque estratégico permite la identificación sistemática de oportunidades de optimización, lo que se traduce en una toma de decisiones más precisa y fundamentada. Como resultado, la empresa busca reducir fallas, incrementar la productividad, disminuir costos operativos y, en consecuencia, maximizar la eficiencia y rentabilidad del sistema eléctrico.

Uno de los ejes fundamentales dentro de esta transformación es la implementación y evolución del análisis de criticidad, un enfoque clave para evaluar y priorizar los activos que requieren mayor atención. Gracias a este método, la empresa ha logrado identificar con mayor precisión cuáles de los aproximadamente 2,500 km de red de NT2, presentan mayor riesgo o impacto en la operación del sistema.

Para fortalecer este proceso, la empresa ha incorporado mejoras, incluyendo el uso de Python para el análisis y procesamiento de datos. Esta herramienta ha permitido un acceso más rápido y efectivo a la información, facilitando la representación y comprensión del comportamiento eléctrico del sistema de distribución local.

El aprovechamiento de herramientas tecnológicas y enfoques basados en análisis de datos no solo optimiza la gestión de activos, sino que también impulsa una visión predictiva dentro de la planificación del mantenimiento y las inversiones. Esto garantiza un servicio más confiable, estable y eficiente, alineado con las mejores prácticas del entorno y las necesidades del usuario final.

### II. Introducción

En la gestión de activos de sistemas eléctricos de distribución, la identificación precisa de fallas y su impacto es un desafío constante. Las interrupciones en el servicio no solo afectan la calidad y continuidad del suministro, sino que también generan costos operativos elevados y demandan estrategias eficientes de mantenimiento e inversión. Para abordar este reto, es fundamental contar con procesos de análisis de criticidad, que permitan priorizar las acciones preventivas y optimizar la asignación de recursos.

En este contexto, la Empresa de Energía del Quindío (EDEQ) ha emprendido un proceso de mejora continua en la gestión de sus bases de datos dentro del Sistema de Gestión de la Distribución (DMS). La optimización del consumo y procesamiento de información ha sido clave para obtener una representación más fiel del comportamiento del Sistema de Distribución Local (SDL). Sin embargo, los métodos tradicionales de análisis presentaban limitaciones, particularmente en la identificación de las causas



8º CONGRESO MUNDIAL  
DE MANTENIMIENTO Y  
GESTIÓN DE ACTIVOS



11 · 12 · 13  
JUNIO · 2025  
Centro de Convenciones  
Cartagena de Indias - Colombia



22º Congreso Iberoamericano de Mantenimiento  
27º Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA

raíz de las fallas, lo que podía llevar a intervenciones incorrectas o ineficientes.

Para superar estas dificultades, se ha llevado a cabo un proceso de integración y depuración de datos que permite analizar con mayor precisión las interrupciones y su relación con los diferentes elementos de la red. A través del uso de herramientas, como Python para la automatización y procesamiento de datos, se ha logrado mejorar la precisión del análisis, corrigiendo errores previos y permitiendo una planificación más efectiva de las intervenciones en la infraestructura eléctrica.

Este artículo explora la evolución del modelo de análisis de criticidad en EDEQ, describiendo las mejoras implementadas en la metodología y el impacto de estos avances en la gestión del sistema de distribución. Asimismo, se aborda el desarrollo del proyecto "Armonía Electrovegetal", una iniciativa enfocada en la mitigación de riesgos asociados a la interacción entre la red eléctrica y la vegetación, con el objetivo de reducir interrupciones y optimizar costos de mantenimiento.

A través de este análisis, se busca evidenciar cómo la optimización de bases de datos y la adopción de herramientas tecnológicas pueden transformar la gestión de activos en el sector eléctrico, generando beneficios tanto operativos como económicos y mejorando la confiabilidad del servicio.

### III. Antecedentes

#### Criticidad:

Históricamente, la metodología de análisis de criticidad en la Empresa de Energía del Quindío (EDEQ) seguía un enfoque similar al descrito en el apartado metodológico de este artículo. Sin

embargo, presentaba diferencias significativas en la estrategia de procesamiento de datos, lo que afectaba la precisión en la identificación de fallas críticas dentro del Sistema de Distribución Local (SDL).

En el método tradicional, se recopilaban todos los eventos de falla registrados en cada nodo de la red de distribución, sin distinguir entre las interrupciones que ocurrían en el punto exacto del evento y aquellas que se generaban como consecuencia aguas abajo. Esta práctica generaba un volumen excesivo de información, lo que, en lugar de facilitar el análisis, introducía un porcentaje de error considerable en la focalización de fallas. Debido a esta metodología, se identificaban como críticas zonas que en realidad solo experimentaban efectos colaterales de fallas ocurridas en otros puntos de la red.

Una vez recopilados estos datos, se procedía a ejecutar el análisis de criticidad, que si bien brindaba una visión general del estado del sistema, presentaba inconsistencias en la priorización de las zonas más vulnerables. La sobrecarga de información distorsionaba los resultados, lo que podía derivar en asignaciones erróneas de recursos en el plan de inversiones y mantenimiento.

Los resultados obtenidos bajo esta metodología pueden observarse en la Imagen 1, donde se evidencia cómo la falta de una estrategia optimizada de depuración de datos generaba una representación menos precisa de la criticidad real del sistema. Esta limitación motivó la evolución del modelo, dando paso a una nueva estrategia de procesamiento basada en la integración y filtrado inteligente de la información, lo que permitió una reducción significativa de errores y una optimización en la toma de decisiones estratégicas.

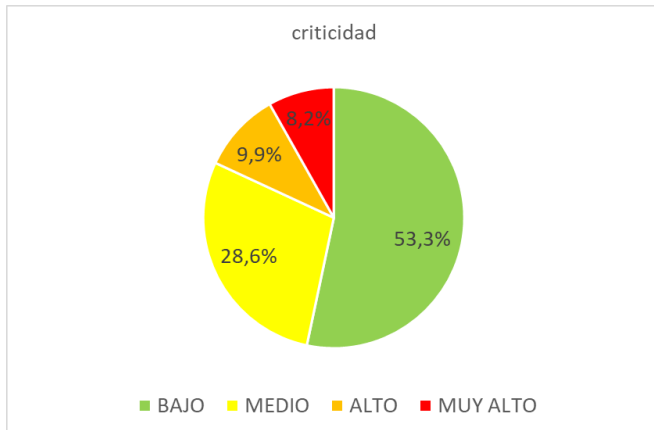


Imagen 1. Resultado análisis de criticidad inicial

### **Armonía electro vegetal:**

La problemática de la interferencia de la vegetación con las redes de distribución eléctrica ha sido abordada mediante diversas estrategias en la Empresa de Energía del Quindío (EDEQ). En este contexto, el estudio "Armonía Electro-Vegetal" desarrolló una metodología basada en optimización matemática y modelamiento multiobjetivo para planificar de manera eficiente los recursos destinados al mantenimiento de la vegetación.

La metodología implementada en EDEQ se estructuró en dos niveles: planeación a largo plazo y operación a corto plazo. En la fase de planeación, se determinaron zonas críticas de intervención a partir del historial de podas y se definieron estrategias para mitigar el impacto de la vegetación, incluyendo la sustitución de especies arbóreas por otras de menor tamaño y la implementación de tecnología de redes compactas. Para la optimización de estos recursos, se utilizó el Algoritmo Genético Elitista de Ordenamiento No Dominado (NSGA-II), que permitió minimizar el costo presente neto de la inversión y reducir la exposición de las redes al contacto con la vegetación.

En la fase operativa, se diseñó un esquema de programación de podas basado en modelos matemáticos para minimizar el índice de frecuencia de interrupciones (SAIFI), priorizando la intervención en zonas con mayor riesgo de falla. Para ello, se implementó un algoritmo de optimización (Chu-Beasley) que permitió generar un cronograma eficiente de mantenimiento de la vegetación.

Los resultados demostraron que la aplicación de esta metodología no solo optimizó los costos de mantenimiento, sino que también mejoró los índices de confiabilidad del sistema eléctrico, reduciendo progresivamente la incidencia de fallas causadas por la vegetación. Estos avances sirvieron de base para fortalecer la estrategia de gestión de activos en EDEQ, facilitando la toma de decisiones en la planificación del mantenimiento y la inversión en infraestructura eléctrica.

## **IV. Metodología**

El análisis de criticidad en la Empresa de Energía del Quindío se utiliza para priorizar actividades dentro del plan de inversiones, el plan de mantenimiento y otras iniciativas relacionadas con la operación del negocio de distribución.

La metodología comienza con el registro de información sobre eventos planeados y no planeados que ocurren en el sistema de distribución del departamento del Quindío. Estos eventos son documentados por los operadores del centro de control. Posteriormente, se recopilan y revisan las bases de datos de los diferentes sistemas de información (operación, calidad y comercial).

La etapa más compleja del análisis es el tratamiento de las bases de datos y la

automatización en Python, optimizando el proceso para lograr un análisis de criticidad más preciso. Para ello, se implementan dos estrategias clave:

1. Estrategia de elementos operados: Se emplea para depurar la información en los alimentadores secundarios o ramales, con el objetivo de identificar con precisión el lugar donde ocurrió la falla. Los sistemas de información registran las ausencias de energía aguas abajo de la falla, lo que dificulta la identificación del origen. Para solucionar esto, se comparan los elementos operados en terreno con los que experimentaron una ausencia de suministro eléctrico, estableciendo coincidencias por evento. Si existe una coincidencia, se asume que ese es el punto de falla. Esta estrategia es particularmente eficaz en los alimentadores secundarios, que carecen de elementos tele gestionados, ya que cada dispositivo de protección delimita la zona afectada.

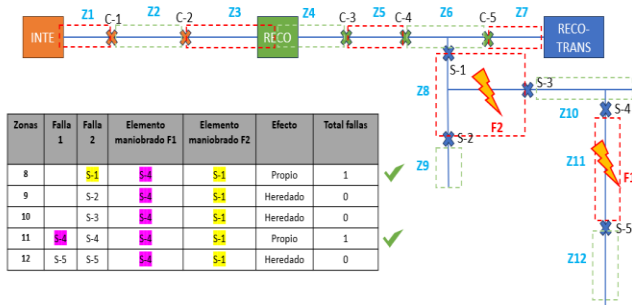


Imagen 2. Método tiempos máximos

2. Estrategia de tiempos máximos de ausencia de energía: Aplicada a los alimentadores principales, donde los dispositivos de protección tele gestionados cubren amplias zonas, dificultando la identificación del punto exacto de la falla mediante la primera estrategia. En este

caso, se analiza la duración de la ausencia de energía en cada elemento de corte durante un evento. La lógica detrás de este método es que, en los alimentadores principales, la estrategia operativa prioriza aislar la menor porción posible del circuito bajo falla. De este modo, la zona con el mayor tiempo de indisponibilidad es identificada como el posible punto de origen del evento.

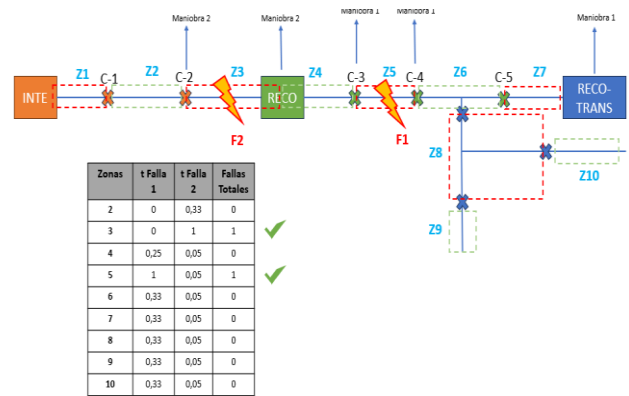


Imagen 3. Método elemento maniobrado

Una vez depuradas las bases de datos de operación, calidad y comercial, se inicia el análisis de criticidad. Se evalúan las consecuencias y frecuencia de las afectaciones mediante distintos objetos de impacto: personas, calidad del servicio, medio ambiente, finanzas e imagen corporativa. En este proceso, se analizan más de 2000 zonas del sistema de distribución eléctrica, categorizándolas en niveles de prioridad: Muy Alto, Alto, Medio y Bajo. La clasificación se basa en variables como interrupciones, tipos de cliente, consumos, longitud del circuito, condiciones forestales y compensaciones, entre otras.

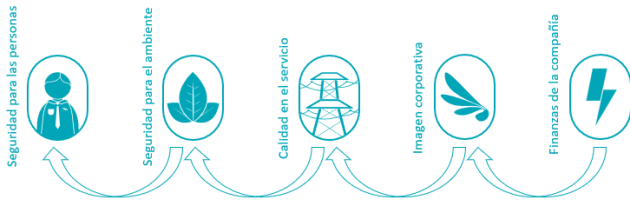


Imagen 4. Objetos de impacto analizados.

		IMPACTO				
		MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
PROBABILIDAD	MUY PROBABLE	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
	PROBABLE	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto
	POSIBLE	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto
	POCO PROBABLE	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
	IMPROBABLE	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Imagen 5. Matriz de criticidad empleada.

Finalmente, con los resultados del análisis de criticidad, se toman decisiones estratégicas sobre los activos más críticos identificados, determinando acciones como potenciación, reforma, mantenimiento o desincorporación. De esta manera, se optimiza la gestión de la infraestructura eléctrica, garantizando un servicio más eficiente y confiable.

## V. Resultados

Uno de los resultados más significativos tras la implementación de la metodología de depuración de información fue la optimización del análisis de criticidad, particularmente en la evaluación de la frecuencia de fallas y su impacto. Gracias a este proceso, se logró reducir las interrupciones procesadas en las zonas del SDL de 17.242 a 3.133, lo que representa una disminución del 450% de las interrupciones analizadas y focalizadas.

Este resultado no solo redujo la cantidad de paquetes de información a procesar, optimizando la eficiencia en el uso de recursos computacionales, sino que también mejoró la precisión en la ubicación de eventos de falla. La optimización permitió enfocar los esfuerzos en zonas con problemas reales, como afectaciones por vegetación, incumplimientos normativos y tramos con baja salud, favoreciendo así una distribución más eficiente de los recursos dentro del plan de inversiones y mantenimiento.

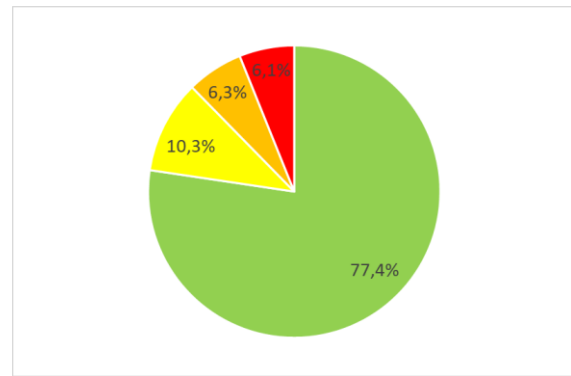


Imagen 6. resultado análisis de criticidad

En la imagen 6. se evidencia una reducción significativa no solo en la frecuencia de interrupciones, sino también en la clasificación de criticidad de los eventos en comparación con el método previamente utilizado.

Al analizar las categorías de mayor impacto dentro del análisis de criticidad, como Muy Alto, Alto y Medio, se observa una disminución de 24 puntos porcentuales en estas clasificaciones. Esto representa una mejora sustancial en la toma de decisiones estratégicas, al permitir un enfoque basado en costo, riesgo y desempeño. Además, esta optimización hace posible la atención de un mayor número de zonas dentro del plan de mantenimiento e inversiones, maximizando la eficiencia operativa y la asignación de recursos.



Este avance demuestra el impacto positivo de la depuración de información en la gestión de interrupciones, contribuyendo a un servicio más estable, predecible y eficiente.

Asimismo, se obtuvieron resultados en cuanto al frente de trabajo de armonía electrovegetal, en donde, algunos de los elementos que más aportaron al indicador SAIDI no programado de los últimos años debido a la causa de apertura por árbol o rama sobre la línea, los cuales fueron priorizados por el nuevo modelo del proyecto “Armonía Electrovegetal” para el año 2024:

El reconector R-036 que energiza una parte importante del municipio de Génova a través del cual se conectan 777 usuarios.

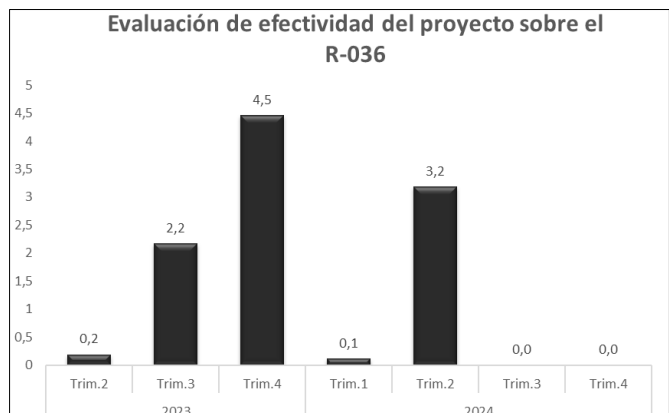


Imagen 7. Impacto de las intervenciones realizadas en el segundo trimestre del año 2024 – R-036

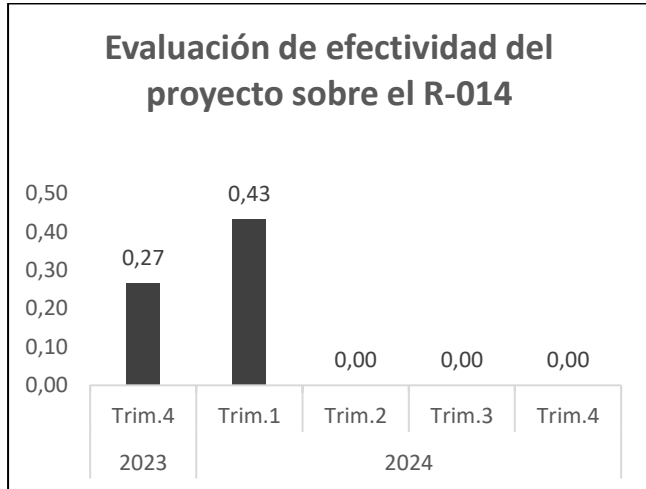


Imagen 8. Impacto de las intervenciones realizadas en el segundo trimestre del año 2024 – R-014

Los resultados del nuevo enfoque del modelo de “Armonía Electrovegetal”, fueron obtenidos en el primer trimestre del 2024 y ejecutados en los dos primeros trimestres como se muestran en las imágenes anteriores para los reconectores R-014 y R-036, por lo cual, se realizó el diagnóstico y todas las gestiones requeridas de socialización con la comunidad y las entidades gubernamentales (CRQ, Alcaldía Municipal, autoridad de tránsito, entre otros) para poder llevar a cabo los respectivos relevos de los individuos forestales que se encontraban debajo o al lado de la red de media tensión y que debían ser intervenidos con frecuencia con actividades de poda, ya fueran preventivas o correctivas. Como se puede observar en la Imagen 1 e Imagen 2 después del retiro de los árboles no se volvió a presentar afectación al SAIDI por vegetación sobre la red en el año 2024 y lo que va del 2025.

También se realizó un análisis del costo de las podas a los reconectores R-014 y R-036 que se realizaron sobre los árboles que fueron retirados y se obtuvo una estimación en una ventana de 10 años de reducción de costos mantenimiento forestal tipo poda del 83%.

A continuación, en la figura 3, se muestra el plan de Armonía Electro vegetal para todo el departamento del Quindío, priorizado de acuerdo con el nuevo método descrito en el presente artículo, el cual obtuvo alrededor de 215 zonas con importancia alta, de las 855 zonas que están en contacto con aproximadamente 15.000 árboles en nivel de tensión 2. Estas zonas serán ejecutadas entre 2024 y 2027, en las cuales se estiman retirar 3200 árboles, y compensar por ello aproximadamente 10.000 árboles en la misma zona, o en zonas protegidas. Con ese plan, se proyecta mejorar el SAIDI por vegetación sobre la red en aproximadamente un 84% (principio de Pareto):

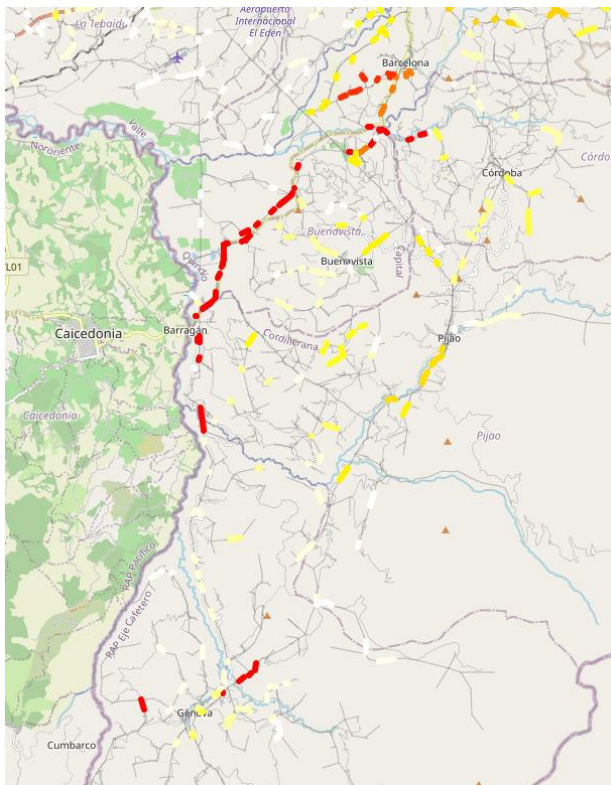


Imagen 9. Mapa de zonas priorizadas

## VI. Conclusiones y recomendaciones

- El acceso a las bases de datos permite maximizar la generación de valor en las empresas, ya que ofrece un mayor discernimiento sobre su gestión activos, lo que se traduce en decisiones de mayor impacto y una mejora significativa en la calidad del servicio.
- Los resultados obtenidos de las zonas analizadas en el presente artículo tienen una efectividad del 100%, muy importante para las otras ejecuciones del plan que están en curso, ya que se espera una mejora sustancial en la calidad en la prestación del servicio de energía eléctrica, reducción de costos de mantenimiento y aumento por venta de energía.
- Se espera tener un ahorro a largo plazo de los costos de mantenimiento forestal, el cual se estima que puede estar entre un 10% y un 20% de los costos de mantenimiento anuales.
- La implementación del modelo "Armonía Electro vegetal" ha demostrado ser una estrategia efectiva para reducir los riesgos asociados a la vegetación cercana a las redes eléctricas. Al identificar y realizar sustitución arbórea a los árboles en zonas críticas, se ha logrado disminuir significativamente las interrupciones del servicio, mejorando así la calidad y fiabilidad del suministro eléctrico.