



XXIV CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

4 AL 6 DE MAYO DE 2022. Bogotá - Colombia



REPOSICIÓN DE REDES DESNUDAS POR REDES CON CABLE SEMIAISLADO EN MEDIA TENSIÓN BASADO EN CRITERIOS DE GESTIÓN DE ACTIVOS.

Cristian David Sosa Aguirre
Empresa de Energía del Quindío E.S.P S.A.
Carrera 13 # 14 – 7 Armenia
E-mail: cristian.sosa@edeq.com.co
Pereira, Colombia

Alejandro Gómez Gallego
Empresa de Energía del Quindío E.S.P S.A.
Carrera 13 # 14 – 17 Armenia
E-mail: alejandros.gomez@edeq.com.co
Belén de Umbría, Colombia

David Fernando Diaz Barrios
Empresa de Energía del Quindío E.S.P S.A.
Carrera 13 # 14 – 17 Armenia
E-mail:
david.fernando.diaz@edeq.com.co
Ibagué, Colombia

1. Resumen

Con el propósito de mejorar la calidad del servicio y reducir los costos del mantenimiento correctivo para así poder redistribuir el recurso óptimamente, se desarrolla la metodología para la reposición de redes de media tensión aéreas desnudas, por redes semiaisladas identificadas en el plan de inversiones de la compañía, dado que, ante un evento para reestablecer el servicio en las zonas de afectación, el acceso puede llegar a ser complejo y requiere de tiempos extendidos de recuperación del servicio.

Por lo que, para la planeación del proyecto se hace necesario conocer el comportamiento de las redes desnudas y semiaisladas a través del tiempo en cantidades de fallas, tiempos de duración de los eventos y los costos de

mantenimiento correctivo que se incurren para reestablecer el servicio en las zonas de interés ante un evento, y así posteriormente evaluar el costo, riesgo y desempeño de las mismas.

En la construcción de la metodología se tiene en cuenta las diferentes normativas de diseño, regulatorias, técnicas y financieras que apliquen, para la cual se trabajó con diferentes equipos de la organización, generando sinergia entre las mesas de trabajo para la definición de criterios.

2. Introducción

En la empresa de energía del Quindío S.A ESP (EDEQ), se ha venido adelantando el proyecto de implementación de gestión de activos bajo la norma ISO 55001, en donde se han construido diferentes herramientas para la toma de decisiones, teniendo en cuenta



XXIV CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

4 AL 6 DE MAYO DE 2022. Bogotá - Colombia



criterios de costo, riesgo y desempeño. Dentro de las herramientas se construye el análisis para la reposición de redes de media tensión con el fin de mejorar la calidad del servicio y reducir los costos de mantenimiento correctivo en las redes del departamento del Quindío.

3. Objetivos.

- Mejorar la calidad del servicio.
- Mitigar posibles sanciones por parte de la autoridad regulatoria por incumplimiento con tiempos máximos permitidos sin servicio de energía eléctrica ante un evento en contingencia.
- Optimizar costos operacionales.
- Ayudar a preservar la fauna y flora al disminuir la intervención forestal.
- Comparativamente, se pronostica que los ingresos de la organización aumentarían en **MCOP \$ 1.402** en promedio al año, de la vida útil de las inversiones.

4. Análisis de costos por mantenimiento.

Con el fin de mejorar la calidad de los usuarios que cuenta con el servicio de energía eléctrica y disminuir los costos de mantenimiento correctivo cuando se produce una falla, se eligió los costos por mantenimiento correctivo como uno de los criterios para reemplazar las redes desnudas por redes semiaisladas en el departamento del Quindío.

Para obtener el comportamiento general de los tipos de redes de interés instaladas en el SDL, se implementa el siguiente método:

Nota: El análisis técnico se realiza en las zonas rurales del departamento debido a que es prioridad de reposición en el plan de inversiones.

1. Se consolidaron los eventos históricos de fallas asociadas al contacto por árbol o rama sobre las líneas, aperturas por otros objetos en las líneas, aperturas asociadas al contacto entre líneas, aperturas por contacto de la línea con herrajería del poste, aperturas por poda y aperturas por animales sobre la línea desde el año 2011 hasta el 2020 con el respectivo costo de reparación generada por las ordenes de trabajo.
2. Se depuró la información para encontrar los eventos ocasionados en redes desnudas y semiaisladas.
3. Una vez consolidada la información se divide cada costo de mantenimiento de las fallas entre los kilómetros de red de la zona de afectación del evento, para así, obtener un valor unitario por año del costo de reparación para red desnuda y semiaislada.
4. Se obtuvo el modelo estadístico que mejor se acopla a los datos, el cual es de carácter exponencial, ya que es el que mejor presenta ajuste a la información de acuerdo con su estadístico R^2 que es de 0.97 aproximadamente.

$$Y = 257069,1731 * X^{0,5134}$$

Donde:

X: Corresponde al año de estudio.

Y: Corresponde al costo de mantenimiento por unidad de kilómetro de una red desnuda.

***Ecuación 1.** Ecuación de costo de mantenimiento por unidad de kilómetro de red desnuda aérea rural en 13,2 kV.*



Tabla I. Costo de mantenimiento por unidad de kilómetro.

Año	Red Desnuda (Costo/km)	Red Semiaislada (Costo/km)	% Costo
2011	\$ 234.639,08	\$ 100.225,41	42,71%
2012	\$ 412.270,91	\$ 136.325,21	33,07%
2013	\$ 489.712,52	\$ 174.870,38	35,71%
2014	\$ 520.238,06	\$ 169.832,10	32,65%
2015	\$ 554.923,24	\$ 199.144,99	35,89%
2016	\$ 614.824,32	\$ 219.056,29	35,63%
2017	\$ 677.338,59	\$ 216.828,53	32,01%
2019	\$ 766.641,67	\$ 258.853,74	33,76%
2020	\$ 803.053,47	\$ 360.914,83	44,94%

De acuerdo a la Tabla I, en promedio el costo de mantenimiento correctivo de una red semiaislada es el **36%** del costo de mantenimiento de una red desnuda, esto se debe a que comparativamente mientras que un tramo de red semiaislada falla **1 sola vez** al año, una red desnuda falla **6 veces**.

Con lo anterior, el beneficio que se obtendría por costo evitado se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Beneficio_{del\ Año\ i} = Y_i * km_{Reposición} * \%Ahorro$$

Donde:

$Beneficio_{del\ Año\ i}$: Corresponde al beneficio del costo evitado por mantenimiento correctivo para el año i.

Y_i : Corresponde al costo de mantenimiento por unidad de kilómetro de una red desnuda.

$km_{Reposición}$: Es la cantidad de kilómetros a reponer en el sistema de acuerdo con el plan de inversiones, se identificaron de acuerdo con la criticidad de activos un total de **349,3737 km de red**.

$\%Ahorro$: Es el ahorro que se obtiene por instalar red semiaislada, que, de acuerdo con la Tabla I, se aproxima a un 60% de ahorro.

Ecuación 2. Ecuación de costo de mantenimiento por unidad de kilómetro de red desnuda aérea rural en 13,2 kV.

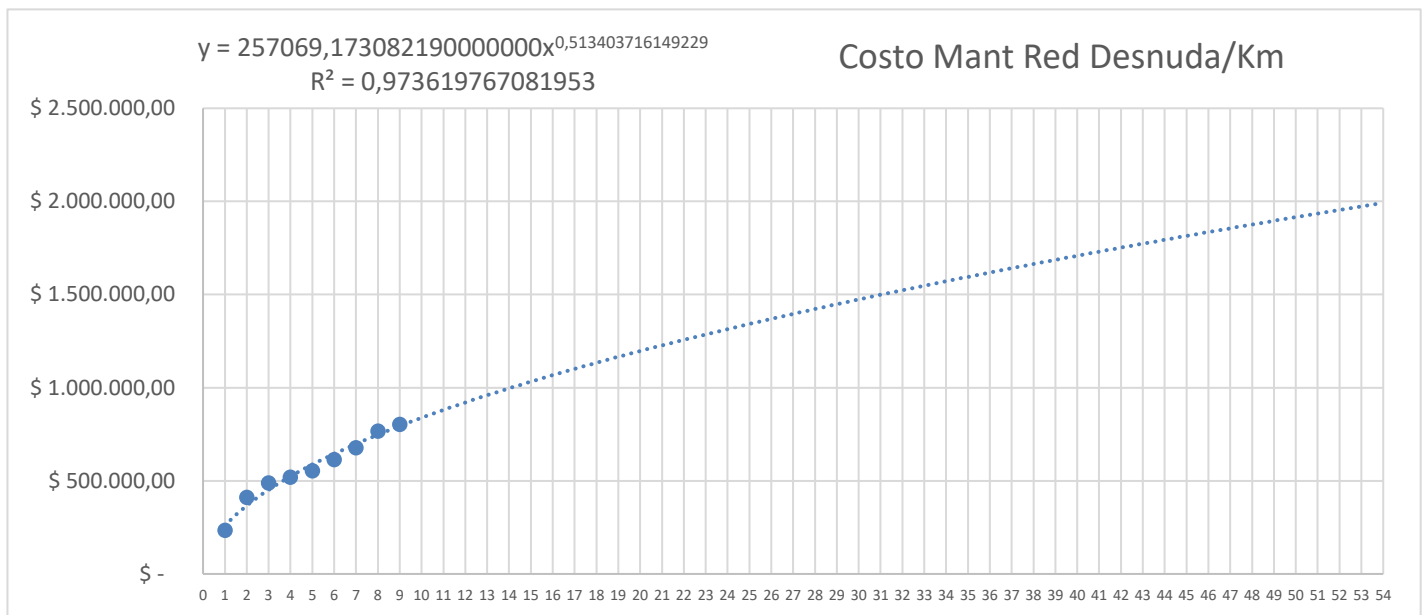


Figura 1. Costo de mantenimiento por unidad de kilómetro de red desnuda aérea en 13,2 kV.



XXIV CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

4 AL 6 DE MAYO DE 2022. Bogotá - Colombia



5. Análisis de valoración de la inversión.

El siguiente paso es identificar las cantidades de los diferentes elementos que se deben reponer e instalar, para luego valorarlos económicamente y obtener la rentabilidad de los activos de acuerdo con el capítulo 3 de la resolución Creg 015 de 2018 [1]. Por lo cual se implementa el siguiente método:

1. Se definieron los costos económicos de la mano de obra para retirar las redes existentes (líneas y postes), la mano de obra de los materiales necesarios para la instalación de la red semiaislada de acuerdo a la normativa EDEQ de diseño ([2], [3], [4], [5]) y requerimientos que se deban implementar para este tipo de red (líneas, postes, separadores, sistema de puesta a tierra para las redes, dispositivos de protección de sobretensión y sistemas de puesta a tierra para los transformadores), además, se tiene en cuenta los costos económicos administrativos (póliza, seguros, certificación RETIE y otros costos). Para ello se tomó como base los precios de proyectos pasados, se actualizaron de acuerdo con estudios de mercados y se complementaron con valores de contratos existentes.
2. Se obtuvo de las bases de datos los kilómetros de las líneas a reponer de acuerdo con los siguientes criterios: conductor aéreo desnudo, propiedad de EDEQ, población rural, año de entrada en operación menor a 2008, y que se

encuentre para reposición de acuerdo con el plan de inversiones.

3. Otros criterios de diseño para instalar redes semiaisladas, es instalar un poste como máximo a cada 60 metros de red. Los sistemas de puesta a tierra y dispositivos de sobretensión se instalan a cada 300 metros de red, y de manera general en EDEQ para este tipo de infraestructura se instala un 10% de postes con retención sencilla con cruceta volada, un 20% de postes con retención sencilla con cruceta centrada, un 40% de postes con retención doble, un 10% de postes con suspensión sencilla y un 20% de postes con suspensión doble.
4. Con lo anterior, y realizando la ingeniería de planeación se identificaron los siguientes activos a retirar e instalar:

Retiro

- 291.3882 Km de red ACSR #2 AWG.
- 27.7225 Km de red ACSR # 1/0 AWG.
- 28.2465 Km de red ACSR # 2/0 AWG.
- 2.0165 Km de red ACSR # 4/0 AWG.
- 639 Postes con herrajería tipo suspensión.
- 1477 Postes con herrajería tipo retención.

Instalar

- 291.3882 Km de red semiaislada #2 AWG.
- 27.7225 Km de red semiaislada # 1/0 AWG.
- 28.2465 Km de red semiaislada # 2/0 AWG.



XXIV CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

4 AL 6 DE MAYO DE 2022. Bogotá - Colombia



- 2.0165 Km de red semiaislada # 4/0 AWG.
- 41063 Separadores para cable semiaislado.
- 1056 Sistemas de puesta a tierra para las redes.
- 965 Sistemas de puesta a tierra para los transformadores.
- 2785 Unidades de Dispositivos de protección de sobretensión (DPS).
- 931 Postes de fibra de vidrio con Cruceta Volada para Cable Cubierto (Retención Sencilla).
- 1255 Postes de fibra de vidrio con Cruceta Centrada para Cable Cubierto (Retención Sencilla).
- 2801 Postes de fibra de vidrio con Cruceta Centrada para Cable Cubierto (Retención Doble).
- 621 Postes de fibra de vidrio con Brazo Tipo C para Cable Cubierto (Suspensión Sencilla).
- 689 Postes de fibra de vidrio con Brazo Tipo C (Ángulo Doble) para Cable Cubierto (Suspensión Doble)

El valor de la inversión, incluyendo las actividades de retirar e instalar infraestructura, diseño de ingeniería de detalle y costos administrativos (pólizas y seguros, certificación Retie y otros costos), es de **MCOP \$ 33.002**.

Una vez calculada el costo de la inversión se procede a calcular el ingreso por unidades constructivas de acuerdo con lo estipulado en el **capítulo 3 de la Res. Creg 015-2018 [1]**, asimismo, los resultados se evalúan económicamente durante el periodo de la proyección financiera de la compañía (2022-2040), para así tener a valor presente neto unos ingresos esperados por **MCOP \$49.964**.

Finalmente, se evaluaron los beneficios por costo evitado, los ingresos por unidades constructivas del proyecto y el costo de la inversión inicial del proyecto en el periodo de la proyección financiera de la compañía (2022-2040), donde se obtuvo un valor presente neto por **MCOP \$ 17.434** y una tasa de retorno (TIR) del **12, 2%**.

6. Análisis del riesgo

La identificación y valoración de los riesgos asociados a la reposición de redes desnudas aéreas por redes semiaisladas en 13.2 kV en el departamento del Quindío, es con énfasis en las etapas iniciales de formulación y contratación y, se realizó en las siguientes etapas:

Supuestos y aspectos para tener en cuenta para el análisis de riesgos

- El horizonte de la valoración de los riesgos se definió para un periodo de 48 meses, de acuerdo con el cronograma estimado para la puesta en operación del proyecto.
- El referente de costos, gastos e inversiones es el identificado hasta el momento en la formulación del proyecto, y que es cerca de **MCOP \$ 33.002** (Valor referenciado a 2020).
- Los riesgos fueron valorados teniendo en cuenta las escalas de afectación al ambiente, calidad, reputación, personas e información, de acuerdo con lo establecido en la Guía Metodológica para la Gestión Integral de riesgos del Grupo Empresarial aplicable a EDEQ [6].



Resultados

Durante el ejercicio se identificaron y valoraron 8 riesgos asociados al proyecto, distribuidos en 2 escenarios y clasificados de la siguiente manera:

Escenario 1 (No realizar el proyecto)

- No ejecución del proyecto.
- Incumplimiento de los tiempos establecidos para la reposición de redes.



Figura 2. Distribución del nivel de riesgos (escenario no Realizar el proyecto).

Escenario 2 (Realizar el proyecto)

- Incumplimiento de los tiempos establecidos para la Reposición de Redes Aéreas Desnudas por Redes Aéreas Semiaisladas en 13,2 kV.
- Afectación de la continuidad del servicio en el sector

- Incumplimiento del Costo (Presupuesto Capex) establecido para llevar a cabo el Proyecto en sus fases.
- No disponibilidad de recurso humano por parte de EDEQ para la ejecución del proyecto en cantidad y/o calidad.
- Daños de equipos.
- Errores de diseño para la Reposición de Redes Aéreas Desnudas por Redes Aéreas Semiaisladas en 13,2 kV.
- Incumplimiento de la normatividad vigente. Ej.: Legal, ambiental, tercerización indebida, RETIE, entre otras.



Figura 3. Distribución del nivel de riesgos (escenario realizar el proyecto).

Nota: Uno de los riesgos que se presenta en el escenario de no realizar el proyecto, clasificado como alto, cambia su valoración a tolerable en el escenario de la ejecución del proyecto.

El riesgo que exige mayor prioridad para la gestión y que quedó valorado en nivel EXTREMO fue “No ejecución del proyecto”, ya que se dejarían de percibir ingresos por **MCOP \$ 1.402** anualmente.



El objeto de impacto relevante para el análisis de este riesgo fue valorado con consecuencia mayor (costos/recursos financieros), que representa un gran impacto en el índice global final.

Objetos de impacto relevantes

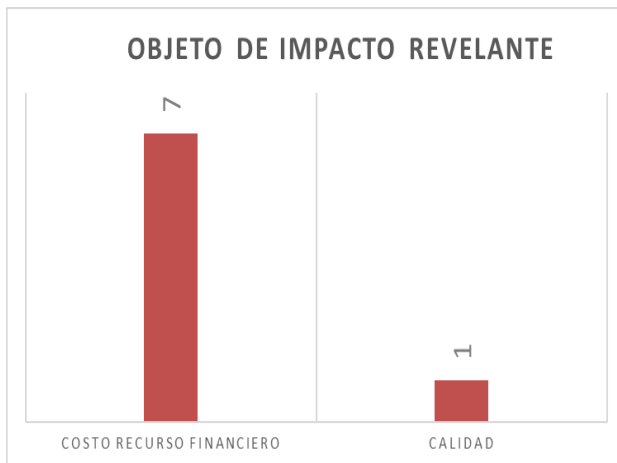


Figura 4. Distribución de los riesgos por objeto de impacto relevante.

De acuerdo con la gráfica anterior, el objeto de impacto que se afecta en mayor medida es el Costo / Recurso Financiero debido a que los riesgos que se presentan en el plan podrían generar costos adicionales por no poder acceder a los ingresos vía cargos por uso, incentivos por calidad en la prestación del servicio y/o un aumento de compensaciones.

Índice de Riesgo

El índice de riesgo es un indicador que proporciona una visión integral de la valoración del conjunto de riesgos del proyecto. El propósito del indicador es generar una alerta respecto al nivel de riesgo en el que se encuentra el proyecto.

Se realizan 2 análisis de acuerdo con los escenarios planteados. El índice de riesgo de no realizar el proyecto actualmente se encuentra en

0.842 y de acuerdo con la escala definida es un nivel Muy alto, y si se realiza el proyecto, el índice de riesgo disminuye a un valor de 0.478 y se clasifica como medio, estos valores pueden variar en las revisiones siguientes cuando se valide la efectividad de los controles propuestos y cambios en el contexto.

Índice de Riesgo Escenario 1	0,842	Muy Alto	Prioridad máxima: se requiere de acciones inmediatas. Para medidas de tratamiento que impliquen inversión económica,
Índice de Riesgo Escenario 2	0,478	Medio	Prioridad moderada: Son riesgos de prioridad moderada, queda bajo la decisión del dueño del riesgo la necesidad de implementar acciones de tratamiento adicionales.

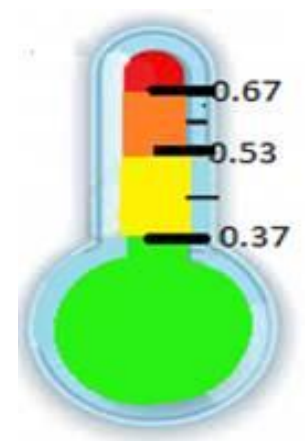


Figura 5. Índice de riesgo.



XXIV CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

4 AL 6 DE MAYO DE 2022. Bogotá - Colombia



7. Bibliografía

[1] Comisión de Regulación de Energía Y Gas, “Resolución CREG 015 de 2018: Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional”.

[2] Empresa de Energía del Quindío S.A E.S.P, “Norma técnica de diseño, disposición en terminal con cruceta volada de 2400 mm, Cable cubierto red compacta”.

[3] Empresa de Energía del Quindío S.A E.S.P, “Norma técnica de diseño, disposición en terminal con cruceta de 1500 mm, Cable cubierto red compacta”.

[4] Empresa de Energía del Quindío S.A E.S.P, “Norma técnica de diseño, disposición en referencia con cruceta centrada de 1500 mm, Cable cubierto red compacta”.

[5] Empresa de Energía del Quindío S.A E.S.P, “Norma técnica de diseño, disposición ángulo doble, Cable cubierto red compacta ángulos entre 21 - 35°”.

[6] Grupo Empresarial EPM, “Guía Metodológica para la Gestión Integral de riesgos”.

Cristian David Sosa Aguirre

Ingeniero Electricista de la Universidad Tecnológica de Pereira, Profesional en Formación de Planeación de Infraestructura en EDEQ E.S.P (2020-2022). Experiencia en programación, análisis de datos, regulación y planeación de sistemas eléctricos de distribución y de potencia.

Cristian David Sosa Aguirre

Oficina: Carrera 13 # 14 – 17. Armenia, Colombia. Sede EDEQ E.S.P S.A.

Celular: +57 3165380166

E-mail: cristian.sosa@edeq.com.co

Alejandro Gómez Gallego

Ingeniero Electricista de la Universidad Tecnológica de Pereira, especialista en gerencia de proyectos Universidad Pontificia Bolivariana, auditor líder en sistemas de gestión de activos bajo la norma ISO 55001, Profesional en Gestión de Activos EDEQ E.S.P S.A. (2019 – 2022); Con experiencia en implementación de Sistema de Gestión de Activos en temas estratégicos, operativos, tácticos y de procesos.

Alejandro Gómez Gallego

Oficina: Carrera 13 # 14 – 17. Armenia, Colombia. Sede EDEQ E.S.P S.A.

Celular: +57 3122025721

E-mail: alejandros.gomez@edeq.com.co

David Fernando Diaz Barrios

Ingeniero Mecatrónico de la Universidad Tecnológica de Pereira, Asistente Técnico (2017 – 2020), Profesional en Formación en Gestión de Activos EDEQ (2020–2022). Experiencia en conexión y vinculación, recibo técnico, PQR's, interventoría, revisión de diseños nivel 1 y 2, Sistema de medida CREG038, Auto generadores CREG030, implementación del Sistema de Gestión de Activos EDEQ.

David Fernando Diaz Barrios

Oficina: Carrera 13 # 14 – 17. Armenia, Colombia. Sede EDEQ E.S.P S.A.

Celular: +57 3107448631

E-mail: david.fernando.diaz@edeq.com.co