

Armonía electro-vegetal: Planeación integrada de los recursos destinados al mantenimiento de la vegetación bajo un enfoque multiobjetivo en el SDL de EDEQ.

Luis Carlos Cubides Rivera
luis.cubides@edeq.com.co
Carrera 13 No. 14-17 Armenia (Q)

Jhonatan Esteban Tabares Arias
jhonatan.tabares@edeq.com.co
Carrera 13 No. 14-17 Armenia (Q)

Resumen del trabajo

El departamento del Quindío se caracteriza por su abundante cantidad de recursos naturales y atractivos turísticos que motivan a ser uno de los destinos más visitados de Colombia, el cual debe ser respaldado por la continuidad del fluido eléctrico a sus hoteles y centros recreacionales. Debido a esto y a futuras medidas regulatorias, actualmente la Empresa De Energía del Quindío S.A.ESP (EDEQ) desarrolla planes para garantizar la calidad del servicio eléctrico prestado a los habitantes y turistas, el cual se ve afectado en su mayoría por el contacto de la vegetación con las redes eléctricas. En este sentido, aquí se presenta una metodología basada en técnicas de optimización multiobjetivo, que permite planear los recursos destinados a disminuir el impacto de la vegetación.

Introducción y revisión bibliográfica

El surgimiento de los servicios domiciliarios como el acueducto y alcantarillado, la energía eléctrica y las telecomunicaciones ha traído para las ciudades un complejo sistema de cables y ductos que deben convivir con la flora urbanística. Esta última otorga un alivio en el ambiente que se vive a diario en los centros metropolitanos, los cuales se encuentran a menudo inmersos en contaminación de tipo visual, auditiva y de gases de efecto invernadero. Desde el punto de vista del suministro energético, las empresas de distribución han tenido que enfrentar diversas dificultades, relacionadas con preservar un nivel adecuado de calidad del servicio prestado y realizar mantenimiento de la vegetación sin desmejorar la integridad física de las especies [1].

Las líneas aéreas, que son en su mayoría la composición de las redes de distribución en Colombia, al realizar contacto con la vegetación ocasionan un evento que representa una de las principales causas de interrupción en el suministro de energía en el sistema de distribución [2] [3].

Generalmente, el mantenimiento de la vegetación se ejecuta por la empresa de distribución a cargo del sistema de forma convencional, un grupo de operarios realiza una inspección visual a lo largo de la red eléctrica para determinar los tramos de red susceptibles a contacto con la vegetación. Posteriormente, se intervienen las especies vegetales considerando las técnicas de poda que preservan la integridad física de la vegetación [4]. Estos procedimientos pueden tener resultados satisfactorios desde el punto de vista del cumplimiento de las metas de confiabilidad, sin embargo, se podrían obtener mejores resultados si se utilizan metodologías enfocadas en el modelamiento matemático, considerando diferentes objetivos, índices de confiabilidad y restricciones técnicas.

En la literatura especializada se presentan pocos trabajos en torno al mantenimiento de la vegetación bajo redes aéreas de distribución. En términos generales se reportan los siguientes aspectos para un programa eficiente de podas: Históricos de fallas, evolución de una falla por vegetación, duración del ciclo de mantenimiento, índices de confiabilidad, tiempo desde la última intervención en la vegetación, presupuesto del operador de red para ejecutar labores de poda, cadenas de Markov, etc. [5] [6] [7].

Otros trabajos se enfocan en desarrollar formas de vigilar la cercanía de los árboles con las líneas de distribución, considerando la inspección desde aire y tierra con cámaras termográficas e imágenes satelitales [8] [9] [10]. Algunas publicaciones resaltan la importancia de métodos inteligentes como las redes neuronales para la predicción de tasas de falla de alimentadores de distribución por contacto con la vegetación [11] [12]. Por otro lado, se emplean modelos matemáticos que representan el problema de mantenimiento de la vegetación a través de funciones objetivo con una serie de restricciones, obteniendo como resultado cronogramas de actividades de poda en donde se minimizan costos de mantenimiento o se maximiza la confiabilidad de la red de distribución [13] [14].

Este trabajo propone una metodología integrada para mejorar los índices de confiabilidad del sistema de distribución local de EDEQ, mayoritariamente afectado por vegetación. Se incluyen acciones enmarcadas en el planeamiento de redes de distribución, cambio de especies vegetales y programación de poda de árboles. La solución del problema está dada en términos de las inversiones requeridas para cada una de las acciones, en un horizonte de tiempo de 10 años, acompañado del cronograma de podas para el primer año del periodo bajo estudio. Este cronograma determina las zonas de operación del sistema de distribución y el trimestre en el cual deben ser sometidas a mantenimiento de la vegetación.

Metodología propuesta

La metodología general para minimizar el impacto de la vegetación en las redes del SDL de EDEQ rige las 2 siguientes primicias:

- Definir las zonas operativas en donde se deben reemplazar las especies vegetales por unas de menor tamaño que a largo plazo no interfieran con las líneas aéreas de distribución.
- Determinar aquellos sectores que requieren de un cambio tecnológico, lo cual implica el reemplazo de la red convencional por red compacta.

Estas dos últimas acciones (cambio de especies y cambio tecnológico) corresponden a decisiones de largo plazo (10 años) relacionadas con el esquema de planeación, mientras que la programación de podas o esquema operativo está enmarcada en decisiones que se toman a corto plazo (1 año). Por consiguiente, el algoritmo que obtenga el plan de podas debe ser ejecutado anualmente, mientras que el de planeación se ejecuta una sola vez para la ventana de tiempo de 10 años.

Para el desarrollo de la metodología general, se seleccionan “zonas críticas” en EDEQ correspondientes a aquellas que a lo largo de los años de desarrollo de los consolidados han sido visitadas por los encargados de realizar Poda.

En cada zona crítica se realiza una minería de datos de las labores de mantenimiento desarrollado por la empresa, con el objetivo de identificar las zonas boscosas o “sub-zonas” en cada zona de operación representados como se muestra en la Figura 1.

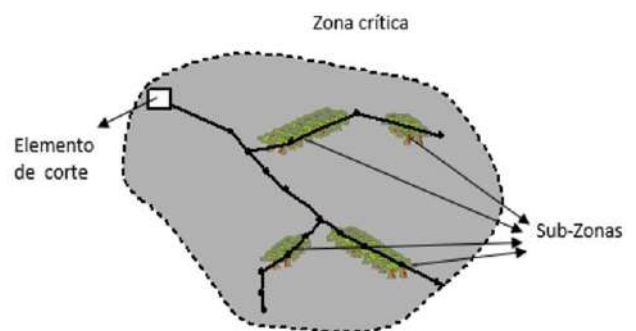


Figura 1. Representación de una zona crítica del SDL

La metodología general está dividida en 3 etapas y sigue la secuencia descrita en la Figura 2. En las siguientes secciones se describe el desarrollo de cada una de las etapas, enmarcadas en el esquema metodológico global.



Figura 2. Metodología general del estudio

Por otra parte, se tienen en cuenta los siguientes aspectos en el marco de trabajo de este estudio:

- Se consideran 2 especies diferentes de vegetación: árboles y guaduas. Los árboles abarcan todo tipo de especie (diferente a la guadua) que alcanza a tener contacto con la red y que deben ser intervenidas cada 2 trimestres. Por otro lado, la guadua debe ser intervenida por trimestre.
- El cambio tecnológico se realiza utilizando los costos de unidades constructivas de la resolución CREG 015 del 2018.

Determinación de zonas y sub-zonas:

Para determinar las zonas críticas y sus respectivas sub-zonas se utiliza el historial de labores de poda de vegetación de EDEQ. Se realiza un proceso de minería de datos para agrupar la información de acuerdo con la Tabla I, que contiene el historial de visitas en cada zona durante los últimos 4 años. Se discriminan las fincas que tienen en común dicha zona y se asigna para cada visita un 1 (uno) si la finca fue visitada, o 0 (cero) en caso contrario.

Tabla I. Formato de información del historial de podas.

Zona	Finca/dirección	Visita					
		1	2	3	4	5	6
Z ₁	A	1	0	1	0	1	1
Z ₁	B	1	0	1	0	1	1
Z ₁	C	1	1	0	1	1	0
Z ₂	D	0	0	0	1	0	0
Z ₂	E	1	1	1	0	1	0
Z ₂	F	1	0	1	1	0	0
:	:	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Z _n	K	0	0	1	0	0	0

Para identificar las sub-zonas se realiza una clusterización que identifica las visitas parecidas a lo largo de los años de historial de podas como lo presenta la Tabla II, realizando un agrupamiento de acuerdo a la cantidad de

caracteres parecidos, finalmente en la Tabla III se presenta una ponderación que corresponde a la cantidad de veces que fue visitadas cada sub-zona.

Tabla II. Agrupamiento de visitas por zona.

Zona	Finca/dirección	Visita					
		1	2	3	4	5	6
Z ₁	A	1	0	1	0	1	1
Z ₁	B	1	0	1	1	0	0
Z ₁	C	1	1	0	0	0	0
Z ₂	D	0	0	0	1	0	0
Z ₂	E	1	1	1	0	1	0
Z ₂	F	1	0	1	1	0	0
:	:	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Z _n	K	0	0	1	0	0	0

Tabla III. Sub-Zonas resultantes.

Zona	Finca/dirección	Sub-Zona					
		1	2	3	4	5	6
Z ₁	A	1	0	1	0	1	1
Z ₁	B	1	0	1	1	0	0
Z ₁	C	1	1	0	0	0	0
Ponderado Z₁		2	1	0	1	2	0
Z ₂	D	0	0	0	1	0	0
Z ₂	E	1	1	1	0	1	0
Z ₂	F	1	0	1	1	0	0
Ponderado Z₂		2	2	0	1	0	0
:	:	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Z _n	K	0	0	1	0	0	0
Ponderado Z_n		n₁	n₂	n₃	n₄	n₅	n₆

La anterior metodología se realiza para cada una de las zonas críticas definidas.

Etapa de planeación de los recursos de poda:

En esta etapa se toman decisiones relacionadas con determinar las actividades a las cuales serán sometidas las zonas operativas del sistema a lo largo del periodo de 10 años. La etapa de planeación debe entregar como resultado parcial del esquema metodológico los siguientes resultados:

- Zonas operativas a intervenir cada año a lo largo del periodo de 10 años.
- Actividad de decisión sobre la respectiva zona, ya sea cambio tecnológico, cambio de especie vegetal.

- Cantidad de sub-zonas a realizar la intervención de cambio tecnológico o cambio de especie.

El presupuesto anual de poda del sistema EDEQ debe ser un dato conocido y entra como parámetro al modelo, este valor será proyectado de acuerdo al SMLV, como se presenta en la Figura 3.

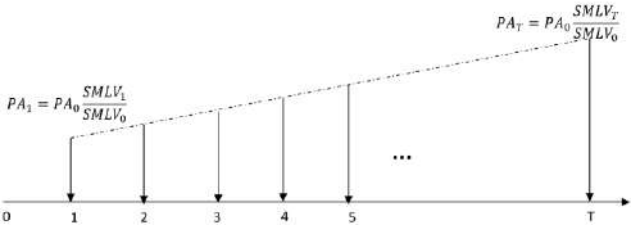


Figura 3. Proyección del presupuesto anual para poda.

Codificación empleada en la etapa de operación:

La codificación emplea una matriz de 2xn, siendo n la cantidad de zonas. La primera fila corresponde a la estrategia a implementar (cambio de tecnología o especie) a lo largo del periodo de planeamiento (T) y la segunda fila son las sub-zonas intervenidas con dicha estrategia.

Zona:	1	2	3	...	n-1	n
Código:	n	0	n	...	T+b	T+b
Sub-zonas:	2	X	1	...	3	2

Figura 4. Codificación propuesta para la etapa de planeamiento.

En la Figura 4, la fila código corresponde al tipo de intervención a realizar en la zona operativa. Cada número describe una actividad diferente, para poda (0), para cambio tecnológico (n) y para cambio de especie (b); siendo (n y b <T). Para el caso de la fila que contiene las Sub-zonas, se entrega la cantidad a intervenir por cualquiera de las estrategias, de cambio tecnológico o de especie.

Optimización multi-objetivo en la etapa de planeación:

El problema a trabajar en la etapa de planeación de acuerdo a la codificación presentada, presenta 2 funciones objetivos en conflicto. El primer objetivo es minimizar el VPN (Valor Presente Neto) del presupuesto anual. Por otro lado, el segundo objetivo consiste en minimizar la ponderación total de las sub-zonas expuestas a vegetación, este último permite priorizar el cambio tecnológico o cambio de especie en aquellas sub zonas con mayor ponderación. El conflicto consiste en que al eliminar sub-zonas boscosas se necesita más inversiones (como lo presenta la Figura 5). Para la solución del enfoque multiobjetivo en donde se relaciona el conflicto de intereses entre el número de ponderaciones y el VPN, se utiliza el Algoritmo Genético Elitista de Ordenamiento No Dominado (NSGAI), el cual está ampliamente explicado en [15].

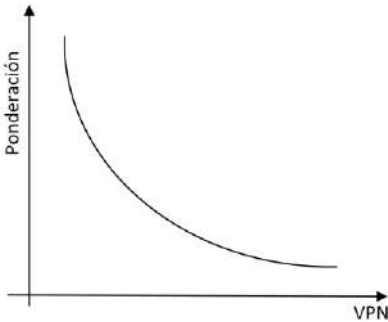


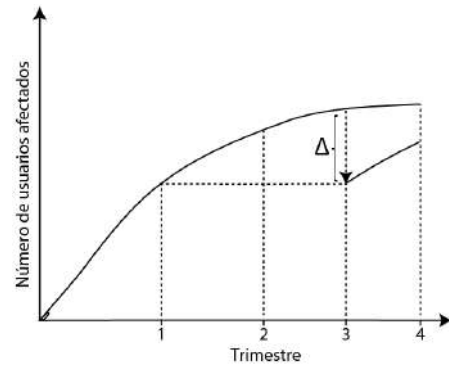
Figura 5. Conflicto entre las funciones objetivo bajo estudio

Efectos en el presupuesto anual con cambio de tecnología o especie:

Para evaluar el presupuesto que se sigue invirtiendo en poda después de una intervención por cambio de tecnología o especie en el año X (ver Figura 6), es necesario restar el costo asociado a dicha estrategia, del presupuesto total proyectado para el año. Las variables n_1 y n_x corresponden a la cantidad de sub-zonas boscosas en todo el estudio antes y después de realizar la estrategia, respectivamente, por lo tanto, la inversión que se va a tener para poda C_{px} se

Etapas de operación del esquema de podas:

Para el desarrollo de la metodología de operación del esquema de podas, se opta por estimar el número de usuarios afectados a futuro, proveniente del histórico de eventos de interrupción ocasionados por el contacto con la vegetación para cada zona. Cabe resaltar que cada vez que se ejecuta una labor de poda en una zona operativa, la curva de estimación de los usuarios afectados debido a vegetación, se reduce en un valor (Δ), proporcional a la cantidad de sub-zonas intervenidas en la zona, tal y como se presenta en la Figura 7 Esta última corresponde a un caso en el cual se realiza poda en el trimestre 3, lo que ocasiona una reducción del número de usuarios afectados equivalentes al trimestre 1. Luego, la curva sigue creciendo de acuerdo con la pendiente que se tenía en el trimestre 1.



Modelo matemático de la etapa de operación:

$$\min SAIPI = \frac{1}{NUT}.$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^Z \left(1 - \frac{(V_a(i, t) + V_g(i, t))}{NV_a(i) + NV_g(i)} \right) \cdot NUA(i) \quad (1)$$

$$CV \cdot \sum_{i=1}^Z \sum_{t=1}^T V_a(i, t) + V_g(i, t) \leq R_T \quad (2)$$

$$V_a(i, t) + V_a(i, t - 1) \leq NV_a(i) \quad \forall i \in Z \quad \forall t \in T \quad (3)$$

$$V_q(i, t) \leq NV_q(i) \quad \forall i \in Z \quad \forall t \in T \quad (4)$$

$$V_a(i, t) \leq NV_a(i) \quad \forall i \in Z \quad \forall t \in T \quad (5)$$

$V_g(i, t)$: Variable que determina la cantidad de visitas a realizar en la zona operativa i en el trimestre t en las sub-zonas con guaduas.

- $NV_a(i)$: Número de sub-zonas con árboles en la zona operativa i .
- $NV_g(i)$: Número de sub-zonas con guaduas en la zona operativa i .
- CV : Costo por visita.
- RT : Recurso total financiero disponible para desarrollar las actividades de poda durante T .
- $NUA(i, t)$: Número de usuarios afectados en la zona operativa i durante el trimestre t .
- NUT : Número de usuarios total del sistema de distribución.

En la ecuación (1) se minimiza el índice SAIFI [16]. El número de usuarios afectados se disminuye conforme a la cantidad de visitas a realizar en una zona operativa, considerando sub-zonas con guaduas y sub-zonas con árboles. Nótese que cada vez que se realizan visitas a las sub-zonas, se reducen los usuarios afectados en la función objetivo en una proporción y no en su totalidad. Esto último aplica para aquellos casos en los cuales se visiten todas las sub-zonas de la zona de operación.

La ecuación (2) establece una restricción de tipo financiero de todas las actividades de poda, considerando que una visita, sea de árboles o de guaduas, tiene un costo equivalente. Este costo proviene de la disponibilidad del grupo de trabajo o cuadrilla. En (3), se garantiza la intervención de las especies vegetales (diferentes a la guadua) cada dos trimestres. Por último, las ecuaciones (4) y (5) definen un límite máximo de visitas que se puedan realizar en la zona de operación.

Codificación empleada en la etapa de operación:

La codificación en la etapa de operación está representada por una matriz de $1 \times (8n)$, en donde el valor de n corresponde a la cantidad de zonas

de operación, y el valor de 8 relaciona los 2 tipos de plantas que se van a trabajar (guadua y árbol) en los 4 trimestres del año. El presupuesto entregado por la etapa de planeación, constituye una restricción financiera para las actividades de poda durante el año de programación del mantenimiento de la vegetación. En la Figura 8, en cada elemento del vector aparece la cantidad de intervenciones C_i que se van a realizar en la zona Z_i .

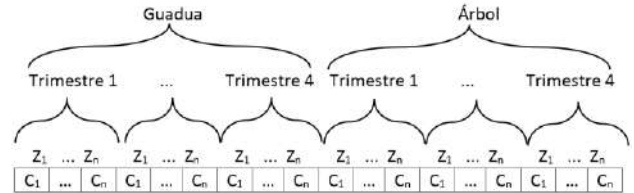


Figura 8. Codificación de la etapa de operación.

Teniendo en cuenta que el modelo matemático de la etapa de operación está enmarcado en un enfoque monobjetivo, la técnica de solución para encontrar el cronograma de podas para el primer año del periodo de planeación corresponde al Algoritmo Genético de Chu-Beasley, el cual puede ser consultado con más detalle en [17].

Resultados Del Estudio

Se realiza el planeamiento de los recursos de poda para los próximos 10 años, y el plan de mantenimiento de la vegetación en el primer año de planeamiento, conforme a la metodología presentada anteriormente. La cantidad de zonas y sub-zonas determinadas a través del proceso de manejos de datos en EDEQ, se presenta en la Tabla IV.

Tabla IV. Información de Zonas EDEQ

	Guadua	Árbol	Total
Cantidad Zonas	557	862	982
Cantidad Sub-zonas	1112	1742	2854

En la Tabla IV, la cantidad de zonas totales no corresponde a la suma de éstas, ya que las zonas pueden estar combinadas entre guadua y árbol.

Etapas de planeación:

En concordancia con los precios actuales de labores de poda de EDEQ, los recursos a planear son de 1.112.850.225 COP y crecerán con la proyección del IPP según la Figura 9. Si se opta por ejecutar únicamente mantenimiento de la vegetación, sin tener en cuenta las otras actividades (cambio tecnológico y cambio de especie), el valor total de las inversiones de poda trasladado a valor presente VPN sería de 6.682.474.013,63 COP al primer año de planeación.

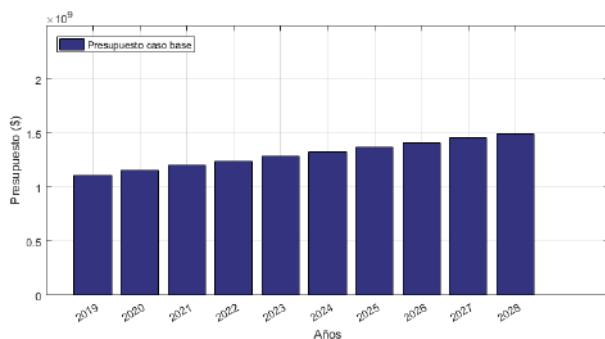


Figura 9. Inversiones para los próximos años si se continua con solo poda.

El cambio de tecnología está basado en la información consignada en las unidades constructivas que componen cada zona. Esta información se toma de la resolución CREG 015 del 2018 teniendo en consideración el valor de la unidad constructiva del calibre presente en la zona de operación, sumado al hecho de que el tipo de material en este caso debe ser cable semiaislado. Por otro lado, la antigüedad de la zona corresponde al promedio de antigüedad de los activos presentes en la zona. Para este estudio, una zona de operación es candidata a cambio tecnológico si su antigüedad es mayor a 20 años.

En el caso de cambio por vegetación en un proyecto piloto para realizar cambio de especie, que afecte en lo mínimo el medio ambiente, tiene un costo promedio por árbol de 221.517 COP. Para el caso de cambio de vegetación, la antigüedad no se tiene en cuenta, debido a que no se está interviniendo directamente la red.

Como se puede observar dentro del frente óptimo de Pareto de la Figura 10, no está incluido el punto en el que no se realiza ni cambio tecnológico ni cambio de especie (continuar con poda-línea azul), debido a que esta solución está dominada por otros puntos en ambos objetivos, tanto por cantidad de ponderaciones (3300) y VPN (6.930.344.976 COP). Esto quiere decir que existen soluciones con mejor VPN y que disminuyen más la ponderación de las sub-zonas, en comparación con el plan de inversión que solamente contempla actividades de poda.

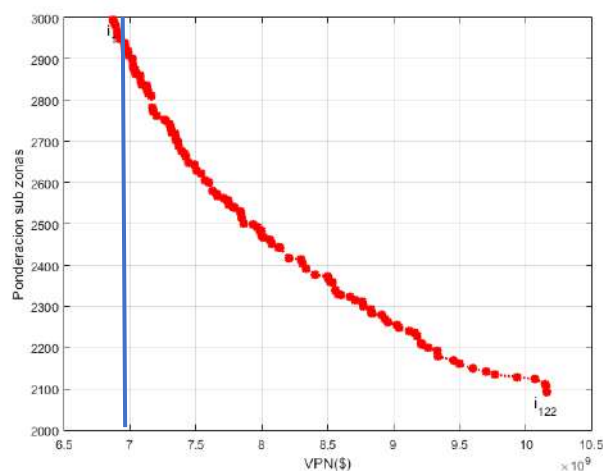


Figura 10. Frente de Pareto obtenido en la etapa de planeación para inversión en poda.

En el frente de Pareto óptimo, se puede seleccionar el punto en el cual la empresa desea operar en el contexto de sus necesidades y el dinero disponible. De acuerdo con las inversiones que tiene previstas la empresa, se selecciona el punto del frente de Pareto con una ponderación de 2470 y 7.999.000.000 COP. Al seleccionar esta opción de planeamiento, se puede encontrar el valor del el VPN (\$) y la cantidad de sub-zonas con las que el sistema cuenta al final del periodo de planeamiento.

La Figura 11 permite observar las inversiones anuales de la empresa, diferenciando entre la inversión que se requiere a lo largo del periodo de planeamiento si solamente se opta por poda (presupuesto caso base sin cambio tecnológico y

vegetación), o si se realiza actividad de poda acompañada de cambio tecnológico y de vegetación (presupuesto anual).

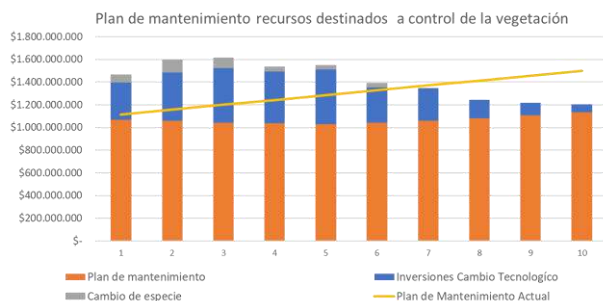


Figura 11. Presupuestos asociados al punto de planeación escogido.

La cantidad de zonas intervenidas por cambio de especie y tecnológico, son de 108 y 320, respectivamente. En subzonas son 526, una disminución de un 18,4 % en sub-zonas boscosas para intervenir por poda en los próximos años.

Etapas de operación:

Con base en el punto escogido del frente de Pareto, se determina el esquema de operación para el mantenimiento de la vegetación del primer año de planeamiento. Adicionalmente, se calcula el índice SAIFI para todos los años del periodo de planeamiento, considerando las subzonas que se retiraron como consecuencia de las actividades de cambio tecnológico y cambio de especie vegetal. A partir del resultado de la etapa de planeamiento, en la Figura 12 se presentan las inversiones destinadas al mantenimiento de la vegetación para cada año del periodo de planeamiento.

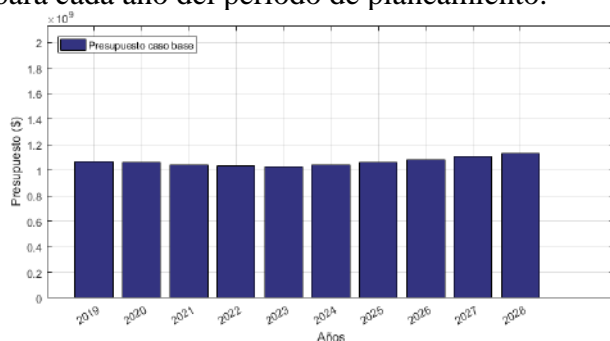


Figura 12. Inversión anual de poda para el periodo de planeamiento

De acuerdo con la Figura 12, la inversión destinada a labores de poda para el año 1 es de 1.070.184.662 COP. Esta inversión crece o decrece a medida que transcurre el tiempo, en concordancia con los requerimientos para las otras actividades (cambio tecnológico o cambio de especie). Comparando la Figura 9 y 12, al final del periodo de planeamiento, se logra reducir en un 24,3 % las inversiones destinadas a poda, gracias a las estrategias de cambio de especie y tecnológico. El comportamiento del índice SAIFI (que indica la frecuencia de las fallas en el sistema por vegetación) se muestra en la Figura 13, siendo consistente su reducción en el transcurso del tiempo debido al aumento en la inversión de poda y al retiro de subzonas que ya no van a estar sujetas a mantenimiento de la vegetación. En el último año del periodo de planeamiento, el valor del SAIFI se redujo en un 32% respecto al primer año, considerando en cada zona de operación, la reducción en la curva de estimación del número de usuarios afectados y llevando cuidadosamente ese registro durante el transcurso de los 10 años.

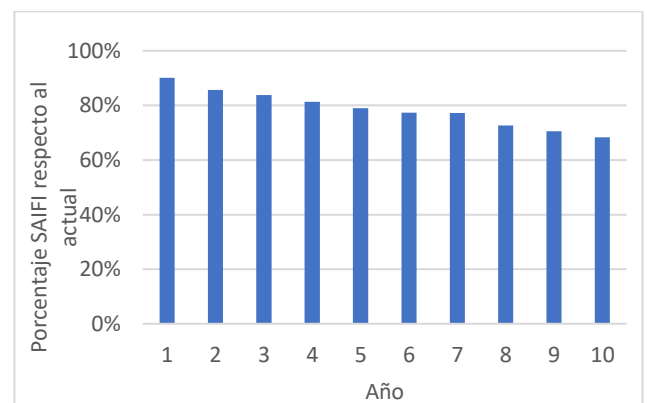


Figura 13. Proporción de índice SAIFI durante el periodo de planeamiento, tomando como referencia el actual.

Conclusiones

El problema de mantenimiento de la vegetación bajo las redes aéreas de distribución de EDEQ para garantizar una Armonía electro-vegetal, ha sido representado en este trabajo a través de programación matemática, abarcando aspectos de

confiabilidad en sistemas eléctricos, planeamiento en redes de distribución y cambio de especies vegetales.

Con la metodología desarrollada, se obtienen resultados a lo largo de un periodo de planeación en donde se identifican las inversiones a realizar en cada uno de los frentes de trabajo: cambio tecnológico, reemplazo de especies y poda. El cambio de especie y poda, permiten una disminución en cantidad de zonas boscosas de un 18,4 %. Además, de esta manera se logran reducir la cantidad de dinero a invertir en poda durante el periodo bajo estudio en un 24,3 %, proporción que es no lineal ya que se están atacando las subzonas con más visitas registradas a lo largo de los consolidados. En la etapa de operación, conjunto a los planes de inversión, se obtienen disminuciones favorables en el índice de confiabilidad SAIFI ocasionado por vegetación de aproximadamente un 32%, gracias al plan óptimo de mantenimiento desarrollado mediante la técnica descrita.

Bibliografía

- [1]. Costa, F., & Rodrigues, H. (2006). Adequação da Arborização Urbana em Redes de distribuição. In National Seminar Distribution of Electrical Energy, Belo Horizonte, Brasil, 2006.
- [2]. Goodfellow, J. (2005). Investigating tree-caused faults. Transmission & Distribution World.
- [3]. U.-C. P. S. O. T. Force, S. Abraham, H. Dhaliwal, R. J. Efford, L. J. Keen, A. McLellan, J. Manley, K. Vollman, N. J. Diaz, T. Ridge et al., Final report on the August 14, 2003 blackout in the United states and Canada: causes and recommendations. US-Canada Power System Outage Task Force, 2004.
- [4]. Companhia Paulista de Força e Luz CPFL. (2003, 01 3). Planejamento e Controle da Arborização na Coexistência com o Sistema Elétrico. 19. São Paulo, Brasil.
- [5]. Goodfellow, J.W. "Understanding How Trees Cause Power Interruptions (presented at 82nd Conference of International Society of Arboriculture)", Minneapolis, United States of America, 2006.
- [6]. Lovelace, W. R. "Vegetation Management on Distribution Line Right-of-Way Are You Getting Top Value for Your Money?." Rural Electric Power Conference, 1996. Papers Presented at the 39th Annual Conference. IEEE, 1996.
- [7]. Kuntz, P. A., Christie, R. D., & Venkata, S. S. (2001). A reliability centered optimal visual inspection model for distribution feeders. IEEE Transactions on Power Delivery, 16(4), 718-723.
- [8]. Ahmad, J., Malik, A. S., & Xia, L. (2011, May). Effective techniques for vegetation monitoring of transmission lines right-of-ways. In Imaging Systems and Techniques (IST), 2011 IEEE International Conference on (pp. 34-38). IEEE.
- [9]. Ahmad, J., Malik, A. S., & Xia, L. (2011, September). Vegetation monitoring for high-voltage transmission line corridors using satellite stereo images. In National Postgraduate Conference (NPC), 2011 (pp. 1-5). IEEE.
- [10]. Larrauri, J. I., Sorrosal, G., & González, M. (2013, May). Automatic system for overhead power line inspection using an Unmanned Aerial Vehicle—RELIFO project. In Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2013 International Conference on (pp. 244-252). IEEE.
- [11]. Radmer, D. T., Kuntz, P. A., Christie, R. D., Venkata, S. S., & Fletcher, R. H. (2002). Predicting vegetation-related failure rates for overhead distribution feeders. IEEE Transactions on Power Delivery, 17(4), 1170-1175.
- [12]. Kuntz, P. A., Christie, R. D., & Venkata, S. S. (2002). Optimal vegetation maintenance scheduling of overhead electric power distribution systems. IEEE Transactions on Power Delivery, 17(4), 1164-1169.
- [13]. Arias, L. A., Hincapie, R. A., & Granada, E. M. (2014, April). Integrated methodology between metaheuristic techniques for

- optimal vegetation maintenance in distribution systems. In T&D Conference and Exposition, 2014 IEEE PES (pp. 1-5). IEEE.
- [14]. Arias, A., Hincapié, R. A., Granada, M., & Gallego, R. A. (2012, September). Optimal scheduling of vegetation maintenance underneath overhead power distribution lines. In Transmission and Distribution: Latin America Conference and Exposition (T&D-LA), 2012 Sixth IEEE/PES (pp. 1-6). IEEE.
- [15]. K. Deb, "Multiobjective optimization using evolutionary algorithms", Chichester, England: John Wiley and Sons, 2002..
- [16]. Comisión Reguladora de Energía y Gas CREG. (2014, marzo 25). Resolución No. 036 de 2014. Bogotá, Colombia.
- [17]. Silva, I. D. J., Rider, M. J., Romero, R., & Murari, C. A. (2006, June). Genetic algorithm of Chu and Beasley for static and multistage transmission expansion planning. In Power Engineering Society General Meeting, 2006. IEEE (pp. 7-pp). IEEE.
1. Jhonatan Esteban Tabares Arias
 2. Teléfono
 - a. -Residencia
 - b. - Oficina
 - c. 3163970536
 3. Dirección del autor(es)
 - a. Cra 13 # 14-50
 - b. Cra 13 # 14-17
 - c. jhonatan.tabares@edeq.com.co
 - d. Armenia, Quindío
 - e. Colombia
1. Luis Carlos Cubides Rivera
 2. Teléfono
 - a. -Residencia
 - b. - Oficina
 - c. 3116294598
 3. Dirección del autor(es)
 - a. Calle 11 No 21A- Edificio G22
 - b. Cra 13 # 14-17
 - c. Luis.cubides@edeq.com.co
 - d. Armenia, Quindío
 - e. Colombia

Hoja de Vida.

Luis Carlos Cubides Rivera, (Pereira-1994) Ingeniero electricista (2016) y Magister en Ingeniería Eléctrica (2018) de la Universidad Tecnológica de Pereira, profesional en formación del área de gestión operativa encargado de la calidad del servicio en la empresa de energía del Quindío (EDEQ), desde el año 2018.

Jhonatan Esteban Tabares Arias, (Pereira-1990) Ingeniero electricista (2016) de la Universidad Tecnológica de Pereira, profesional 1 del área de gestión operativa encargado de la planeación de la infraestructura del SDL de la empresa de energía del Quindío (EDEQ), desde el año 2016.