

Método Heurístico de Ubicación Óptima de Centros de Transformación y Enrutamiento de Redes Eléctricas de Distribución

D. Carrión¹ E. García¹ J. W. González² I. A. Isaac² G. J. López² R. Hincapié²

¹Universidad Politécnica Salesiana

E-mail: dcarrion@ups.edu.ec; egarcia@ups.edu.ec

²Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia

E-mail: jorgew.gonzalez@upb.edu.co; idi.isaac@upb.edu.co; gabriel.lopez@upb.edu.co;

roberto.hincapie@upb.edu.co

Resumen

La expansión de las redes eléctricas por el continuo crecimiento urbanístico genera inconvenientes al momento de la planificación de las mismas y aún más cuando se toma en consideración las diferentes políticas en cuanto a que las redes de distribución no deben afectar al urbanismo, siendo el caso de las redes soterradas. En el presente trabajo se plantea la solución al problema de ubicación de transformadores de distribución para cierta cantidad de usuarios en una zona determinada mediante una heurística de ubicación óptima, considerando minimizar costos de conectividad en la red de distribución hacia una subestación eléctrica; así como también el costo de interconexión con la red de transmisión eléctrica y capacidad de transformadores. La heurística considera k-means como la alternativa para dividir a los usuarios y ubicar los transformadores de distribución, luego mediante análisis de distancias y costos mínimos se logra determinar la mejor ubicación de la subestación y mediante el uso de Steiner Tree se logra generar la línea de distribución que une los transformadores y la subestación. El mismo criterio se usa para la conexión de la subestación al punto de enlace con la red de transmisión. Al finalizar la simulación se logró establecer las ubicaciones óptimas de cada elemento constituyente de la red eléctrica.

Palabras clave— Heurística, Minimización de costos, Planeación eléctrica, Redes de distribución, Transformadores de distribución.

Abstract

The expansion of electricity networks by the continued urban growth creates problems when planning them and even more when taking into account the different policies regarding the distribution networks should not affect the planning, being the case the underground networks. In This paper the solution to the problem of distribution transformer location for a Certain amount of users in GIVEN area was proposed by a heuristic optimal location, Considering minimize connectivity costs in the distribution network to an electrical substation; as well as the cost of interconnection to the electricity transmission network and power transformers capacity. K-means is consider by the heuristic model as the best alternative to divide the users and locate the distribution power transformers, after between the distances comparison and the minimal cost is achieved determine the best location of the substation and using Steiner Tree is achieved by generating the line linking distribution and substation transformers. The same idea is used to connect the substation to the point of connection to the transmission network. After the simulation is able to establish the optimum locations of each network element.

Index terms— Cost minimization, Distribution networks, Electrical planning, Heuristic, Power Transformers

Recibido: 09-09-2016, Aprobado tras revisión: 09-12-2016

Forma sugerida de citación: Carrión, D.; García, E.; González, J.; Isaac, I.; López, G.; Hincapié, R. (2017). "Método Heurístico de Ubicación Óptima de Centros de Transformación y Enrutamiento de Redes Eléctricas de Distribución". Revista Técnica "energía". No. 13, Pp. 90-96
ISSN 1390-5074.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de distribución de energía están directamente relacionados con el usuario final, estos sistemas tienen como principio fundamental mantener altos niveles de calidad y confiabilidad en el suministro de la energía entregada frente a las necesidades crecientes de la población [1]–[5].

Los sistemas eléctricos operan como un todo, pero dada la cantidad de elementos y la magnitud de los cálculos necesarios para el análisis es conveniente dividir el sistema eléctrico en varios subsistemas o categorías para lograr simplificaciones en su manejo. El número de divisiones dependerá de la complejidad del sistema y de la información disponible. Es frecuente considerar las siguientes divisiones, ya que ellas presentan ciertas características comunes. Así se puede dividir al sistema eléctrico en: Generación, Transmisión y Distribución (Fig. 1) [6].

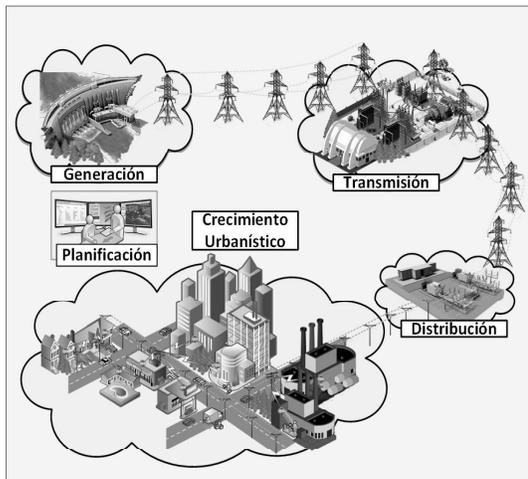


Figura 1: Sistema Eléctrico con consideración de crecimiento urbanístico

Debido a las exigencias y a la sensibilidad de las cargas que existen actualmente, este trabajo presenta algunas propuestas que las empresas de distribución podrían implementar para mejorar la calidad del servicio e influenciar de manera positiva en la confianza de los abonados. La metodología utilizada en primer lugar es la ubicación de los centros de carga en plano el cual podría ser georreferenciada, para luego proceder a determinar la capacidad de la subestación que alimentará a dichas cargas, esta capacidad dependerá de la cantidad de usuarios que se entregará el servicio, tercero se procede a realizar la implementación del algoritmo para la ubicación de estas subestaciones y el diseño del trazado de las líneas de distribución y por último se determina la ruta idónea del primario de alimentación.

En [7] se analiza la ubicación de generación distribuida mediante k-means que es una técnica de clusterización, en la cual se considera el crecimiento de la demanda y la no saturación de las redes eléctricas ya existentes y mediante agrupación encuentra la ubicación de las diferentes fuentes de generación, criterio que puede ser usado para la localización de centros de transformación. En [8] se usa el algoritmo de Branch and Bound para generar el enrutamiento de las redes de distribución en el cual se consideran criterios técnicos y económicos, el diseño de la red propuesta busca minimizar el costo de la red al igual que las pérdidas mediante MINLP.

En [9] se desarrolla una heurística que soluciona el problema de los árboles de distribución encontrando una solución para la topología cuasi óptima de la red, aproximándose al comportamiento del análisis de los árboles mínimos de Steiner, lo cual es un problema de optimización combinatoria [10]–[12].

En la presente investigación se propone el enrutamiento del sistema eléctrico bajo análisis, el cual se lo realiza planteando una heurística la que considera en su desarrollo k-means como la técnica de agrupamiento de los barrios, steiner tree para realizar el tendido de los conductores y mediante búsqueda inteligente la heurística delimita los parámetros técnicos y económicos buscando un mínimo cuasi óptimo.

En adelante este artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección II se explica el problema planteado y la metodología con la que se resuelve mediante k-means y Steiner Tree, en la sección III se presenta el análisis de resultados y en la sección IV finalmente concluimos este artículo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se considera como caso de estudio el crecimiento urbanístico de una ciudad, lo cual afecta directamente al sistema eléctrico de potencia, en especial a la red de distribución. Se parte de la hipótesis que una urbanización está siendo construida con N usuarios (1). La distribución de los barrios se lo hace considerando un plano coordenado XY y para que el modelo planteado sea genérico la ubicación de cada edificación se la realiza de manera aleatoria.

$$N = [x_i, y_j] \forall x_i \in [x_1, y_n] \wedge y_j [y_1, y_n] \quad (1)$$

Donde x_i representa la i ésima coordenada en el eje X, y_j representa la j ésima coordenada en el eje Y y n representa la cantidad de usuarios a incrementar.

También se supone que para cubrir las necesidades eléctricas se deben colocar M centros de transformación que den servicio a los diferentes usuarios. Para realizar el tendido de la red de media tensión se debe considerar cuidadosamente criterios técnicos y económicos de tal manera que se ubique los centros de transformación en sitios donde el costo de implementación sea el mínimo y la capacidad instalada no sea inferior a la carga.

Para encontrar la solución al problema de ubicación óptima de centros de transformación se plantea usar la técnica de clusterización de k-means considerando la capacidad de cada centro de transformación, para lo cual se usa lo planteado en el Algoritmo 1. En la tabla I se detalla las variables empleadas en los algoritmos de ubicación de centros de transformación en el universo de estudio.

Tabla 1: Notaciones

Símbolo	Descripción
N_{usua}	Número de Usuarios
φ_i	Capacidad del Transformador
$Cost_{sub}$	Costo de la Subestación
$Cost_{linea}$	Costo de la Línea de transmisión
$Casas$	Usuario del sistema
x_i	Posición en X
y_j	Posición en Y
$G_{v,E}$	Conjunto de vértices y enlaces
$Sitios$	Posibles lugares para los centros de control
$D_{i,j}$	Distancia de enlace (i, j)
k	Número de transformadores
x_c	Ubicación de los usuarios
y_s	Sitios disponibles
$Costo_{final}$	Solución

Para ubicar de manera uniforme los transformadores de distribución se plantea el uso de k-means como técnica de agrupamiento, k-means es una técnica en la cual todas las variables son cuantitativas y la distancia cuadrática euclidiana (2) es la que difiere entre cada uno de los elementos. Los elementos que tienen distancia cuadrática euclidiana mínima y similar a un solo objeto llegan a formar parte de un cluster, estos elementos tienen un centroide, que no es más que el centro de distancias menores a cada elemento del cluster [13]–[16].

$$d(x_i, x'_i) = \sum_{j=i}^p \|x_i - x'_i\|^2 \quad (2)$$

Donde $d(x_i, x'_i)$ representa la distancia cuadrática euclidiana, x_i representa el punto inicial, x'_i representa el punto final y p representa la cantidad de elementos del universo a estudiar.

El algoritmo una vez que converge, no quiere decir que el punto seleccionado sea el mínimo. Esto se debe a que el algoritmo es una heurística de un problema no convexo y converge en un mínimo local. El algoritmo finaliza cuando los valores no cambian de una iteración a la siguiente. Para la selección de los clusters existen dos metodologías la partición randómica y el método de Forgy (Algoritmo 1).

Una vez localizado la ubicación correcta de las subestaciones se advierte la necesidad de un enrutamiento considerando el costo más bajo para el enlace con cable hacia los centros de carga. Además se debe tener en cuenta el enlace que se genera entre la subestación de distribución y la subestación de subtransmisión, de la misma manera este enlace es el mínimo costo, y por último el costo del enlace hacia el sistema de transmisión de energía, de esta manera se tienen así todos los costos para la instalación del sistema.

Algoritmo 1 Algoritmo k-means

Paso 1: Inicialización del centro de los clusters

$$u_i = \text{algún valor}; i = 1, 2, \dots, k$$

Paso 2: Selección centroide más cercano a cada elemento:

$$c_i = \{j: d(x_j, u_i) \leq d(x_j, u_l), l \neq i, j = 1, \dots, n\}$$

Paso 3: Establecer los elementos de cada cluster

$$u_i = \frac{1}{|c_i|} \sum_{j \in c_i} x_j, \forall i$$

Paso 4: Repetir desde los pasos 2 y 3 hasta converger

Para realizar el enrutamiento de las líneas de distribución y el enlace con el sistema de transmisión se realiza aplicando un árbol mínimo de expansión basado en la heurística Steiner Tree, con lo cual se obtiene la ruta óptima considerando la no generación de lazos [17][18].

Algoritmo 2 Ubicación óptima de centros de transformación

Paso 1: Entradas:

N_{usua} ; $varphi_i$; $Costo_{elemento}$; $Casas = \{x_i, y_i\}$; $G = V, E$; $Subest$

Salidas:

Costofinal

Paso 2: Inicialización:

$K = Ceil\left(\frac{N_{usua}}{\varphi_i}\right)$; $Subest = K * Costo_{Sub}$
 $Sitios = Separate(G, Casas)$
forall $i \in x_s$ **do**
 $dist(i, j) = sqrt(Casas^2 - Sitios^2)$
endforall

Paso 3:

$[Idx, C] = k - means(Casas, Sitios)$
forall $i \in x_s$
 $dist(i, j) = sqrt(Casas^2 - Sitios^2)$
endforall

Paso 4:

$Casas' = Casas$
forall $Casas$
if $enlace \leq \varphi_i$
 $enl(j) = argmin(dist(C_j), Casas)$
 $Casas' = Separate(Casas', Enlace(j))$
 $Costo = Costo + Sum(Enlace * Costo_{Linea})$
else
 $Costo' = Costo + Costo'$
 $j = j + 1$; $Costo = 0$
endif
 $Costo_{Final} = Costo' + Subest$
endforall

Paso 5: Retorna **Costofinal**

Algoritmo 3 Ubicación óptima de la subestación de distribución y alimentación

Paso 1: Entradas:

 $xs; ys; Subest$

Salidas:

Costofinal1

Paso 2: Inicialización:

Ubicación de transformadores

forall xss **do**
forall yss **do**
 $dist_{csub} = sqrt(Centroides^2 - pceranos^2)$
endforall
if $sum(dist_{csub}) \leq d_{comp}$
 $dist_{csub} = i$
 $d_{comp} = sum(dist_{csub})$
endif
endforall

Paso 3: Ubicación subestación de distribución

$dist = zeros(size(xs, 1), size(ys, 1))$
forall xs **do**
forall ys **do**
 $dist(i, j) = sqrt(posxs^2 - posys^2)$
endforall
endforall
 $dis(dist > 1) = inf$
 $dis(dist == 0) = inf$
forall $cc \in ytrafos$ **do**
 $[ruta, costo] = dijkstra(dist, d(i), dest)$
forall $rutas$ **do**
 $plot([xs(rutas(j)), xs(rutas(j +))], ...$
 $[ys(rutas(j)), ys(rutas(j +))])$
endforall
endforall

Paso 4: Alimentación subestación de distribución

$dist = zeros(size(xs, 1), size(ys, 1))$
forall xs **do**
forall ys **do**
 $dist(i, j) = sqrt(posxs^2 - posys^2)$
endforall
endforall
 $dis(dist > 1) = inf$
 $dis(dist == 0) = inf$
 $dest = específico$
forall $cc \in ytrafos$ **do**
 $[ruta, costo] = dijkstra(dist, d(i), dest)$
forall $rutas$ **do**
 $plot([xs(rutas(j)), xs(rutas(j +))], ...$
 $[ys(rutas(j)), ys(rutas(j +))])$
endforall
endforall

Paso 5: Retorna **Costofinal**

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se planteó un escenario en el cual se ubican los 20 barrios y los 80 sitios candidatos en los cuales se puede ubicar los transformadores de distribución, sobre dicho escenario se aplica algoritmo 2 con el cual se ubica los centros de transformación respetando los criterios de mínimo costo, mínima distancia y capacidad de los transformadores. Se considera que la demanda de cada usuario es una unidad de potencia y cada centro de transformación soporta como máximo siete unidades de potencia. La heurística se basa en una búsqueda inteligente considerando las restricciones asignadas, con lo que encuentra una solución casi óptima.

Una vez identificado la ubicación de los centros de transformación en el plano XY que se lo considera como universo de estudio se aplica el algoritmo 3, dicho algoritmo realiza el enrutamiento de los centros de transformación hacia una subestación y de esta última hacia el punto de enlace con el sistema de transmisión del cual se toma la cantidad de energía requerida por los usuarios. En la Fig. 2 se puede apreciar el resultado de lo estipulado.

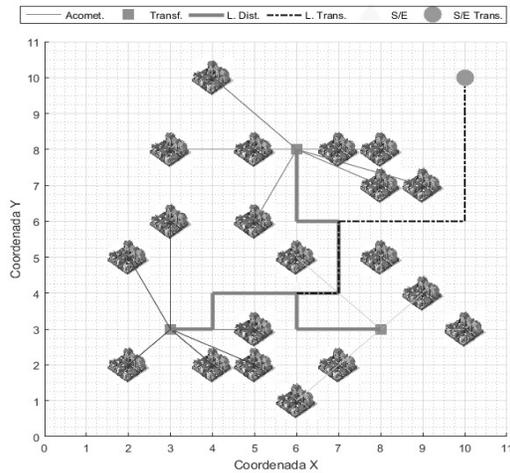


Figura 2: Ubicación óptima de los centros de transformación y red de distribución

La ejecución de la heurística planteada permite realizar la búsqueda de la menor distancia entre la posible ubicación de la subestación y los consumidores, lo que se representa en la Fig. 3.

La Fig. 3 demuestra el comportamiento de búsqueda inteligente de la heurística planteada para cada uno de los tres cluster obtenidos de la capacidad de carga que cada uno de ellos puede tener, una vez encontrado la distancia mínima sin sobrepasar capacidad de potencia se determina como el lugar óptimo de instalación de la misma, además se procede a realizar las conexiones entre los centros de transformación y la subestación de distribución, el criterio de ubicación física de la subestación de distribución es exactamente el mismo que el usado para ubicar los centros de transformación.

La variabilidad de las distancias encontradas de las tres subestaciones a cada grupo de clientes y determinando cuál es la mayor y la menor distancia se compara entre las tres y se obtiene que es de 3%, lo que implica que los sistemas están equilibrados en sus distancias y elementos repartidos, como se representa en la Fig. 4.

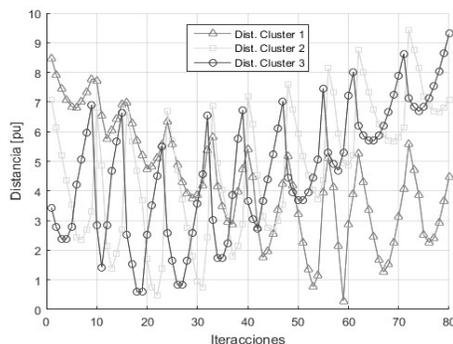


Figura 3: Respuesta de la búsqueda del costo y distancia mínima para la ubicación de la S/E

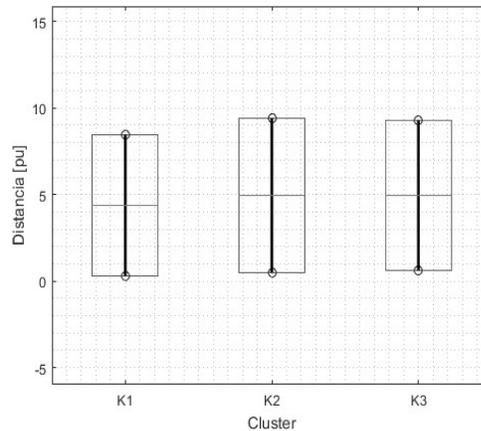


Figura 4: Rango de variación entre la distancia mínima y máxima de cada cluster

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente trabajo se implementó una heurística la cual es capaz de determinar al menor costo la ubicación de las subestaciones de distribución junto a las cargas de los usuarios de acuerdo a la capacidad que esta pueda abastecer, además tomando encuentra el costo del conductor.

Mediante la aplicación de la técnica de cauterización K-means se agrupó los barrios más cercanos de acuerdo a la capacidad máxima de las subestaciones la cual viene dada en función de la cantidad de barrios que se va a servir de energía eléctrica. Para lo cual se aplicó una restricción que los lugares factibles de ubicar las S/E es el conjunto formado por el espacio asignado para la ciudad menos la ubicación de los barrios.

Para poder energizar las subestaciones de distribución se debe conectar con la subestación de subtransmisión o un nodo del SEP del cual factible, para ello se consideró el enlace más corto y además que la ubicación de esta tiene que estar en un lugar factible el cual no debe coincidir con los barrios ni con la subestaciones de distribución manteniendo el mismo criterio de minimización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] A. Garcés, O. Gómez, and A. Arias, “Reliability improvement on distributions power systems by means of primary feeder reconfiguration,” *Sci. Tech.* Año XIV, no. 38, pp. 59–64, 2008.

[2] A. Rastgou and J. Moshtagh, “Improved harmony search algorithm for transmission expansion planning with adequacy–security considerations in the deregulated power system,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 60, pp. 153–164, Sep. 2014.

- [3] A. Aguila, D. Carrión, and L. Ortiz, "Analysis of power losses in the asymmetric construction of electric distribution systems," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 13, no. 7, pp. 2190–2194, 2015.
- [4] E. M. García, A. Águila, I. Isaac, J. W. González, and G. López, "Analysis of Voltage Profile to determine Energy Demand using Monte Carlos algorithms and Markov Chains (MCMC)," in *51st International Universities' Power Engineering Conference*, 2016, no. Mcmc.
- [5] E. García and I. Isaac, "Demand response systems for integrating energy storage batteries for residential users," in *Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, IEEE, 2016.
- [6] T. Gonen, *Electric Power Distribution Engineering*, Third Edition. CRC Press, 2014.
- [7] F. Scarlatache, G. Grigora, G. Chicco, and G. Câr, "Using k-Means Clustering Method in Determination of the Optimal Placement of Distributed Generation Sources in Electrical Distribution Systems," *IEEE Optim. Electr. Electron. Equip. (OPTIM)*, 2012 13th Int. Conf., pp. 953–958, 2012.
- [8] M. J. Rider, A. V Garcia, and R. Romero, "Transmission system expansion planning by a branch-and-bound algorithm," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 2, no. 1, pp. 90–99, 2008.
- [9] V. Parada, J. a. Ferland, M. Arias, P. Schwarzenberg, and L. S. Vargas, "Heuristic determination of distribution trees," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 25, no. 2, pp. 861–869, 2010.
- [10] T. Sudhakar, "Power Restoration in Distribution Network Using MST Algorithms," *Intechopen. Com.*
- [11] A. Nagarajan and R. Ayyanar, "Application of Minimum Spanning Tree Algorithm for Network Reduction of Distribution Systems," 2014.
- [12] E. Inga, D. Carrión, A. Aguila, E. García, R. Hincapié, and J. W. González, "Minimal Deployment and Routing Geographic of PMUs on Electrical Power System based on MST Algorithm," *IEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 5, pp. 2264–2270, 2016.
- [13] G. Cartina, G. Grigoras, E. C. Bobric, and D. Comanescu, "Improved fuzzy load models by clustering techniques in optimal planning of distribution networks," *2009 IEEE Bucharest PowerTech Innov. Ideas Towar. Electr. Grid Futur.*, pp. 2–7, 2009.
- [14] G. Grigoras, G. Cartina, and F. Rotaru, "Using K-Means Clustering Method in Determination of the Energy Losses Levels from Electric Distribution Systems," *Math. METHODS Comput. Tech. Electr. Eng.*, pp. 52–56, 2012.
- [15] F. Rotaru, G. Chicco, G. Grigoras, and G. Cartina, "Two-stage distributed generation optimal sizing with clustering-based node selection," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 40, no. 1, pp. 120–129, 2012.
- [16] D. Carrión, E. Inga, J. W. Gonzalez, and R. Hincapié, "Optimal Geographical Placement of Phasor Measurement Units based on Clustering Techniques," in *51st International Universities' Power Engineering Conference*, 2016.
- [17] D. P. Montoya, J. M. Ramirez, and a G. Theory, "A minimal spanning tree algorithm for distribution networks con fi guration," *2012 IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–7, 2012.
- [18] A. Cárcamo-Gallardo, L. G. Santander, and J. E. Pezoa, "Reconfiguración de redes eléctricas de media tensión basada en el algoritmo de PRIM / Reconfiguration of medium voltage networks based on PRIM's algorithm," *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.*, vol. 15, no. 1, pp. 83–91, 2007.



Diego Carrión.- Nació en Quito en 1981. Sus estudios superiores los realizó en la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), obteniendo el título de Ingeniero Eléctrico en el año 2010. En la actualidad se encuentra en proceso de obtención de su título de PhD en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) en Medellín-Colombia. Actualmente se desempeña como Docente de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana - Sede Quito y forma parte del Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes - GIREI.



Edwin García.- Nació en Ambato en 1978. Sus estudios superiores los realizó en la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), obteniendo el título de Ingeniero Eléctrico en el año 2005; en el año 2016 obtuvo su título de Master

en gestión de Energías en la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). En la actualidad se encuentra en proceso de obtención de su título de PhD en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) en Medellín-Colombia. Actualmente se desempeña como Docente de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana - Sede Quito y forma parte del Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes - GIREI.



Jorge W. González.-Ingeniero Electricista, Magíster y Doctor en Ingeniería Eléctrica. Con formación de investigador en las Universidades de Erlangen y Kempten en Alemania, en Sistemas Eléctricos de Potencia. Posee experiencia profesional de 21 años. Es

docente Titular de planta en pregrado, posgrado e investigador de La Universidad Pontificia Bolivariana, área de sistemas eléctricos de potencia. Es miembro del Grupo de Investigación en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica. En la UPB ha ejecutado proyectos con empresas del sector eléctrico. Como investigador es autor de una importante cantidad de artículos y software para simulación de sistemas de potencia. Fue consultor de la empresa HMV durante 8 años. También laboró para la empresa Siemens PTD, Erlangen, Alemania. Es par evaluador de Colciencias y de la IEEE.



Idi A. Isaac.- Es Ingeniero Electricista, Especialista y Magíster en Ingeniería Área Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. Desde 1999 pertenece al Grupo de Investigación en

Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica TyD-UPB, con el cual ha participado en múltiples proyectos para empresas del sector eléctrico como EPM, ISA, XM, Isagen, en áreas como los FACTS y la transmisión en corriente directa HVdc. Realizó sus estudios doctorales en el marco de un convenio de la UPB con la Universidad de Ciencias Aplicadas de Kempten, Alemania. Dentro de su investigación ha efectuado pasantías formativas en la Dirección de Gestión de la Operación de Interconexión Eléctrica S.A -ISA- y en la Universidad Pontificia Comillas de Madrid, España. Su área actual de interés es la solución de problemas asociados con las micro-redes inteligentes, particularmente en lo que atañe a la integración de generación distribuida, almacenamiento de energía, transporte eléctrico y supervisión de dichos sistemas.



Gabriel J. López.- Ingeniero Electricista, Magíster y Doctor en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. Es docente Titular de planta en pregrado, posgrado e investigador de La Universidad

Pontificia Bolivariana en el área de sistemas eléctricos de potencia. Es miembro del Grupo de Investigación en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica. En la UPB ha ejecutado proyectos con empresas del sector eléctrico como XM, ISA, EPM, CIDET, IEB entre otras. Como investigador es autor de una importante cantidad de artículos, software para simulación de sistemas de potencia, productos de nuevo conocimiento y proyectos de investigación.



Roberto Hincapié.- Recibió el grado de B.S. en ingeniería electrónica, grado de M.S. en ingeniería y el grado de Ph.D. en ingeniería por la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia en los años de 1996, 2005, y 2009, respectivamente.

En la actualidad es profesor asistente de ingeniería de telecomunicaciones con la Universidad Pontificia Bolivariana—Colombia—Medellín y es miembro el Grupo de Investigación GIDATI. Su trabajo se basa en técnicas de modelado y simulación matemáticos. Sus intereses de investigación incluyen la asignación de recursos en redes malladas inalámbricas, planificación de redes e ingeniería de tele-tráfico, con aplicaciones a la calidad del servicio y la cobertura rural.