

MEJORAMIENTO DEL PERFIL DE TENSIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN USANDO GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Improvement of voltage profile in distribution systems using distributed generation

RESUMEN

En este trabajo se propone una metodología para encontrar la localización y el dimensionamiento óptimo de Generadores Distribuidos (GD) en sistemas de distribución con el fin de mejorar los perfiles de tensión de la red, utilizando dos sistemas de prueba empleados en la literatura especializada. La ubicación óptima de los GD se lleva a cabo teniendo en cuenta los nodos con peor índice de estabilidad de tensión, y el dimensionamiento óptimo se obtiene al solucionar un modelamiento matemático no lineal considerando la ubicación de los GD seleccionada anteriormente. El modelo matemático es resuelto empleando el software de optimización GAMS.

PALABRAS CLAVES: Generación distribuida, modelamiento no lineal, perfil de tensión.

ABSTRACT

This paper proposes a methodology for finding the optimal location and sizing of distributed generators (DG) in distribution systems to improve voltage profiles of the network, using two test systems used in the literature. The optimal location of GD is carried out taking into account nodes with worst voltage stability index, and optimum sizing is obtained by solving a nonlinear mathematical modeling considering the location of the previously selected GD. The mathematical model is solved using GAMS optimization software.

KEYWORDS: Distributed generation, nonlinear models, voltage profile.

1. INTRODUCCIÓN

La red de distribución es un subsistema del sistema eléctrico de potencia, el cual tiene como objetivo llevar la energía desde la subestación hasta los consumidores finales, garantizando calidad y confiabilidad en el servicio al menor costo posible. Estos sistemas están compuestos por subestaciones (encargadas de transformar la energía recibida de las líneas de subtransmisión dando origen a los circuitos de distribución primarios), circuitos primarios (suministran energía a los transformadores de distribución en niveles de tensión que van desde 11.4 kV hasta 13.8 kV), transformadores de distribución (entregan energía a las redes secundarias en niveles de tensión aptos para el consumo de los usuarios finales) y los circuitos secundarios (distribuyen la energía a los usuarios con voltajes que van desde 120 V hasta 600 V).

El crecimiento permanente de las cargas existentes y la conexión a la red de distribución de nuevos usuarios ocasionan diversos problemas operativos en los elementos descritos anteriormente. Algunos de estos problemas son sobrecargas en transformadores y alimentadores, incremento en los índices de pérdidas,

inadecuados índices de confiabilidad y niveles de tensión por fuera de los límites permitidos, entre otros.

Para contrarrestar las caídas de tensión que ocasionan los bajos niveles de voltaje en los sistemas de distribución, se han empleado técnicas como ubicación de reguladores de tensión, reconductorización de los alimentadores existentes, ubicación de condensadores y reconfiguración del sistema [1].

Uno de los indicadores de la calidad de la energía en los sistemas de distribución se traduce en que la tensión que se les suministra a los usuarios esté dentro de unos límites permitidos de acuerdo a una normatividad impuesta por los organismos de regulación y control. La regulación colombiana a través de la Norma NTC1340 [2] reglamenta que los intervalos de tensión permitidos en la red de distribución para tensiones mayores a 1 KV y menor a 60 KV no difieran de la tensión nominal en +5% y -10%. De acuerdo con esto, mantener una adecuada regulación en estos sistemas es uno de los asuntos más relevantes para las electrificadoras pues más que un aspecto a mejorar, es un parámetro regulatorio a cumplir.

Actualmente la solución al problema de regulación se hace más complicada, debido a la complejidad y gran

MARIANA LÓPEZ CEBALLOS
Ingeniera Electricista
Universidad Tecnológica de Pereira
mar_ana3007@hotmail.com

RAMÓN A. GALLEGO R.
Ingeniero Electricista, Ph. D.
Profesor Titular
Universidad Tecnológica de Pereira
ragr@utp.edu.co

RICARDO A. HINCAPIÉ ISAZA
Ingeniero Electricista, M. Sc.
Profesor Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
ricardohincapie@utp.edu.co

**Grupo de Investigación en
Planeamiento de Sistemas
Eléctricos, UTP.**

desarrollo de las redes de distribución de energía. Por lo tanto, es conveniente regular localmente el nivel de voltaje en los diversos centros de consumo. Se ha observado que a medida en que se incrementa la conexión de unidades de Generación Distribuida (GD) a los sistemas de distribución se presentan diversos impactos en las condiciones operativas del sistema. Uno de estos aspectos es el mejoramiento de la regulación de la red, pues debido a la cercanía de estas fuentes a los centros de carga, los niveles de tensión en los lugares con peores índices de voltaje pueden ser mejorados, siempre y cuando la ubicación y el tamaño de dichas unidades sean las adecuadas.

Se propone entonces en este estudio desarrollar una metodología que encuentre la localización óptima y el dimensionamiento adecuado de Generadores Distribuidos en sistemas de distribución con el fin de mejorar los perfiles de tensión de la red, utilizando sistemas de prueba empleados en la literatura especializada.

2. GENERACIÓN DISTRIBUIDA

La GD representa un cambio en el paradigma de la generación de energía eléctrica centralizada al proporcionar alternativas tecnológicas que permiten generar esta energía lo más cerca posible al lugar de consumo, mejorando así los niveles de calidad del servicio y minimizando las inversiones asociadas a los sistemas de distribución. Al implementar proyectos de GD lo que se busca es mejorar la calidad de energía, es decir, contar de forma ininterrumpida con energía eléctrica con adecuados valores de voltaje, corriente y frecuencia, entre otros.

La Generación Distribuida consiste en una o varias unidades generadoras de pequeña capacidad conectadas a la red de distribución, proporcionando energía al lugar de consumo. Estas unidades pueden emplear diversas fuentes de energía como eólica, solar, térmica e hidráulica, entre otras, y diferentes tipos de combustibles tales como biomasa, gas natural, diesel, biodiesel, etanol, gasolina, etc.

La aplicación de los Generadores Distribuidos en sistemas de distribución ha sido tratada de diversas maneras. En [3-4] los autores plantean el uso de GD en redes de distribución considerando tecnologías convencionales, mientras que en [5-6] emplean tecnologías no convencionales. Con el fin de mejorar los índices de confiabilidad en [7-8] proponen la ubicación y tamaño óptimo de GD. En [9] también presentan una metodología para localizarlos y dimensionarlos adecuadamente pero con el objetivo de minimizar las pérdidas del sistema. Con el propósito de mejorar los perfiles de tensión de la red en [10-11] ilustran diversos métodos basados también en la ubicación y dimensión adecuada.

Actualmente la aplicación de la Generación Distribuida es una temática de estudio a nivel mundial donde cada día diversos autores proponen nuevos métodos de solución buscando todos encontrar mejores respuestas técnicas y algunas veces económicas.

3. METODOLOGÍA PROPUESTA

Con el fin de hallar la localización y dimensionamiento óptimo de los GD en un sistema de distribución para mejorar los perfiles de tensión, se plantea en este trabajo la metodología descrita a continuación.

Para hallar la localización de los generadores distribuidos se ejecuta previamente un flujo de carga radial y posteriormente se evalúa un indicador de estabilidad según Vinoth [10] para luego obtener una lista de los nodos con peor índice para tomarlos como candidatos a ubicar los generadores.

Una vez se tienen definidas las posibles ubicaciones se procede a realizar el modelamiento matemático del problema donde la función objetivo busca minimizar la diferencia de voltajes que hay en cada nodo con respecto a un valor de referencia para garantizar que los valores nodales de tensión sean lo más alto posible. Esta función objetivo está sujeta a un conjunto de restricciones técnicas que involucra las ecuaciones de balance nodal, límite máximo de generación de los GD y potencia que entrega la subestación, límites máximo y mínimo permitidos de voltaje en los nodos y límites de los ángulos de los voltajes nodales. Las variables del problema son la magnitud y ángulo del voltaje en todos los nodos y la potencia que suministran los GD y la subestación al sistema de distribución. De esta forma se obtiene la dimensión óptima de estas unidades.

3.1. Flujo de carga Radial

Para realizar el flujo de carga radial se implementó el método de barrido iterativo, el cual consta de dos etapas consecutivas [12]. La primera etapa está basada en la aplicación de la primera ley de Kirchoff en cada uno de los nodos, empezando desde los nodos finales hasta llegar a la subestación (nodo fuente o slack). Este procedimiento se denomina barrido de corrientes. Para calcular las corrientes nodales se asume un voltaje inicial de 1 en pu. La segunda etapa consiste en la aplicación de la segunda ley de Kirchoff para obtener las caídas de voltaje en cada una de las líneas, comenzando desde la subestación hacia los nodos finales. Este procedimiento se denomina barrido de voltajes. Para realizar este paso se utilizan los valores de corrientes encontrados en la primera etapa. Este proceso permite encontrar nuevos valores de voltajes nodales.

La ejecución de las dos etapas mencionadas previamente conforma una sola iteración del proceso global. El proceso termina cuando la diferencia de las pérdidas

activas entre dos iteraciones sucesivas es menor que una tolerancia establecida o cuando se alcanza un número máximo predefinido de iteraciones.

3.2. Indicador de Estabilidad

Debido al constante incremento en la demanda, las redes de distribución sufren cambios en los niveles de carga, observándose que en ciertas aéreas y bajo ciertas condiciones de carga crítica, el sistema de distribución puede experimentar colapsos de voltaje.

Según Vinoth un sistema experimenta un estado de inestabilidad de voltaje cuando hay un progresivo o una incontrolable caída en la magnitud del voltaje, siguiendo una perturbación, incremento en la carga demandada o cambio en las condiciones de operación. Esta situación usualmente se identifica por un índice llamado índice de estabilidad de voltaje de estado estable, el cual debe calcularse para todos los nodos de un sistema de distribución radial para determinar cuáles son los nodos con peor índice de la red. Dicho índice (SI por sus siglas en inglés) se expresa para todos los nodos de un sistema de distribución radial según la ecuación (1):

$$SI(n_i) = (V_i)^4 - 4(P_j R_i - Q_j X_i) * (V_i)^2 - 4(P_j X_i - Q_j R_i)^2 \quad (1)$$

Donde:

V_i : Voltaje en el nodo i .

P_j : Demanda de potencia activa en el nodo j .

Q_j : Demanda de potencia reactiva en el nodo j .

R_i : Resistencia de la línea entre los nodos i - j .

X_i : Reactancia de la línea entre los nodos i - j .

Es preciso aclarar que para operación estable del sistema de distribución el Índice de Estabilidad de Tensión debe ser mayor o igual que cero. Por tanto los nodos con menor índice de estabilidad, tienden a presentar inestabilidad de voltaje.

3.3. Localización de GD

Una vez se evalúa la ecuación 1 para todos los nodos del sistema se realiza una lista en orden ascendente y se eligen los nodos de cada lateral que posean menor índice para tomarlos como candidatos para localizar las unidades generadoras.

3.4. Modelo matemático

Con el fin de hallar el dimensionamiento óptimo de los GD se parte de la localización conocida en la etapa anterior. Para realizar este procedimiento se modela matemáticamente el problema donde la función objetivo a minimizar es el cuadrado de la diferencia entre los voltajes nodales y un valor de voltaje de referencia o

deseado (1 pu), esto sujeto a un conjunto de restricciones técnicas [13].

El modelo matemático considerado es no lineal, donde las variables involucradas son los voltajes nodales (magnitud y ángulo) y las potencias (activa y reactiva) que entregan los GD y la subestación al sistema de distribución. A continuación se presentan en forma detallada cada uno de los componentes del modelo matemático.

3.4.1. Formulación de la función objetivo

$$FO = \sum_{i=1}^n (V_i - V_{ref})^2 \quad (2)$$

Donde:

V_i : Voltaje en el nodo i (en pu).

V_{ref} : Voltaje de referencia (1 pu).

n : Número de nodos del sistema de distribución.

El objetivo de esta función es minimizar las caídas de voltaje, sujeto a un conjunto de restricciones planteadas a continuación.

3.4.2. Formulación de las restricciones

3.4.2.1. Ecuaciones de balance nodal

Con este conjunto de ecuaciones se garantiza que todas las demandas del sistema sean atendidas y que la potencia suministrada por las fuentes (GD y subestación) no exceda la potencia requerida por el sistema.

$$PG_i - PD_i = V_i \sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k \cos(\delta_i - \delta_k - \theta_{ik}) \quad (3)$$

$$QG_i - QD_i = V_i \sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k \sin(\delta_i - \delta_k - \theta_{ik}) \quad (4)$$

Donde:

PG_i, QG_i : Potencias activa y reactiva generada en i .

PD_i, QD_i : Demanda de potencia activa y reactiva en i .

V_k : Magnitud del voltaje en el nodo k .

Y_{ik} : Magnitud de la admitancia nodal de la matriz Y_{bus} .

θ_{ik} : Ángulo de la admitancia nodal de la matriz Y_{bus} .

δ_i : Ángulo del voltaje en el nodo i .

δ_k : Ángulo del voltaje en el nodo k .

3.4.2.2. Límites de la magnitud de los voltajes nodales

$$V_{i\min} \leq V_i \leq V_{i\max} \quad (5)$$

Donde:

$V_{i\max}$, $V_{i\min}$: voltajes máximo y mínimo permitidos.

3.4.2.3. Límites de potencia de los GD

$$PG_{i\min} \leq PG_i \leq PG_{i\max} \tag{6}$$

$$QG_{i\min} \leq QG_i \leq QG_{i\max} \tag{7}$$

Donde:

- $PG_{i\min}$: Límite mínimo de potencia activa del GD_i .
- $PG_{i\max}$: Límite máximo de potencia activa del GD_i .
- PG_i : Potencia activa generada por el GD_i .
- QG_i : Potencia reactiva generada por el GD_i .
- $QG_{i\min}$: Límite mínimo de potencia reactiva del GD_i .
- $QG_{i\max}$: Límite máximo de potencia reactiva del GD_i .

3.4.2.4. Límites de los ángulos de los voltajes nodales

$$\delta_{i-\min} \leq \delta_i \leq \delta_{i-\max} \tag{8}$$

$$\delta_k = 0 \tag{9}$$

Con esta expresión se garantiza que los ángulos de los voltajes nodales permanezcan dentro de unos límites permitidos. Usualmente se toma como referencia el nodo slack, por lo que k es el número del nodo de la subestación.

3.5. Dimensión de GD

Una vez se plantea el modelo matemático descrito anteriormente, se procede a solucionarlo empleando un software de optimización especializado, dando como resultado el valor de la dimensión óptima de los Generadores Distribuidos con el fin de garantizar unos niveles de los voltajes nodales lo más cercanos posibles al valor del voltaje en el nodo slack (1 pu).

4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Para verificar la validez de la metodología propuesta en este trabajo, se emplearon dos sistemas de prueba usados en la literatura especializada [10]. Los límites de voltaje considerados para todos los casos de prueba según norma fueron entre 0,9 y 1,05 pu. La potencia base empleada en los sistemas 1 y 2 fue de 10 y 100 MVA, respectivamente. El flujo de carga radial y el cálculo del índice de estabilidad de tensión se realizaron empleando el software Matlab [14]. La solución del modelo matemático se realizó empleando el software GAMS [15]. Todos los cálculos fueron realizados en un computador personal con 2MB de memoria, disco duro de 250 GB y un procesador AMD ATHLON 64 Dual Core.

4.1. Sistema de 25 nodos

En la figura 1 se observa el sistema de distribución de 25 nodos. En la referencia [10] se presentan los valores empleados. El voltaje nominal del sistema es 11 kV.

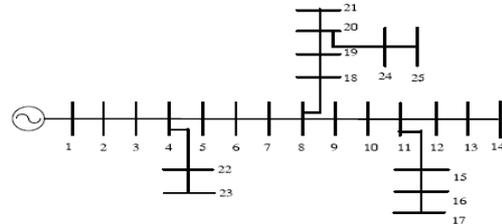


Figura 1. Sistema de 25 nodos sin GD.

En la tabla 1 se ilustran los nodos con menor nivel de tensión antes de ubicar la GD.

NODO	V	NODO	V	NODO	V
13	0,862	19	0,861	24	0,855
16	0,863	20	0,861	25	0,854
17	0,863	21	0,859	-----	-----

Tabla 1. Voltajes nodales en pu sin GD.

De la tabla anterior se puede observar que están violando el límite inferior establecido por la Norma NTC1340. Luego a partir de estos valores se evaluó el indicador de estabilidad con la ecuación 1. En la tabla 2 se observan los cinco nodos con menor índice, de los cuales se seleccionaron los nodos 25, 21 y 14 por tener el menor valor.

NODO	SI	NODO	SI
25	0,5338	18	0,5538
21	0,5452	17	0,5564
14	0,5518	-----	-----

Tabla 2. Índices de estabilidad del sistema de prueba 1.

Partiendo de esto se desarrollaron cuatro casos de prueba que consistían en la ubicación de una unidad de generación en el nodo 14 (caso 1), en el nodo 21 (caso 2), en el nodo 25 (caso 3) y posteriormente ubicándolas al mismo tiempo en los tres nodos (caso 4). Para cada caso se planteó el modelo matemático descrito en el numeral 3.4. Los nodos con menor nivel de tensión para cada caso de prueba se presentan en la siguiente tabla.

CASO	NODO	V
1	25	0,973
2	14	0,983
3	17	0,981
4	17	0,994

Tabla 3. Voltajes nodales en pu con GD.

En la figura 2 se observan los perfiles de tensión para cada uno de los casos de estudio.

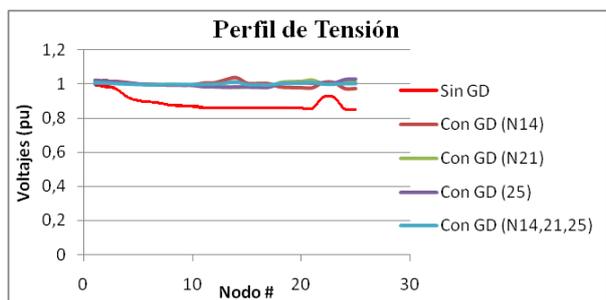


Figura 2. Perfil de tensión para los casos propuestos.

En la siguiente tabla se ilustra la potencia activa que entrega la subestación (SE) y el (los) GD para cada caso de estudio.

CASO	FUENTE	NODO	P (pu)
1	SE	1	0,21
	GD	14	0,20
2	SE	1	0,136
	GD	21	0,274
3	SE	1	0,180
	GD	25	0,23
4	SE	1	0,13
	GD ₁	14	0,176
	GD ₂	21	0,10
	GD ₃	25	0,004

Tabla 4. Potencia activa entregada por cada fuente.

4.2. Sistema de 33 nodos

En la figura 3 se observa el sistema de distribución de 33 nodos y en la referencia [10] se presentan los valores empleados. El voltaje nominal del sistema es 12.66 kV.

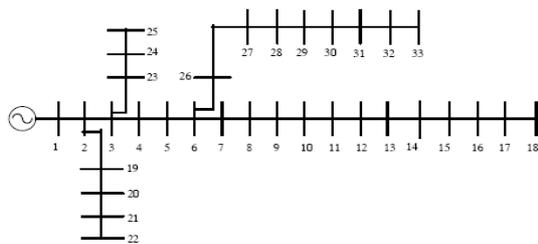


Figura 3. Sistema de 33 nodos sin GD.

En la tabla 5 se ilustran los nodos con menor nivel de tensión antes de ubicar la GD.

NODO	V (pu)	NODO	V (pu)	NODO	V (pu)
15	0,870	18	0,866	32	0,866
16	0,868	30	0,872	33	0,864
17	0,867	31	0,869	-----	-----

Tabla 5. Voltajes nodales sin GD.

De la tabla anterior se puede observar que están violando el límite inferior establecido por la Norma NTC1340. Luego a partir de estos valores se evaluó el indicador de estabilidad con la ecuación 1. En la tabla 6 se observan los cinco nodos con menor índice, de los cuales se seleccionaron los nodos 33, 18 y 27 por tener el menor valor.

NODO	SI	NODO	SI
33	0,5584	10	0,6495
18	0,565	9	0,6539
27	0,6451	-----	-----

Tabla 6. Índices de estabilidad del sistema de prueba 2.

Partiendo de esto se desarrollaron cuatro casos de prueba que consistían en la ubicación de una unidad de generación en el nodo 18 (caso 1), en el nodo 27 (caso 2), en el nodo 33 (caso 3) y posteriormente ubicándolas al mismo tiempo en los tres nodos (caso 4). Para cada caso se planteó el modelo matemático descrito en el numeral 3.4. En la figura 4 se observan los perfiles de tensión para cada uno de los casos de estudio.

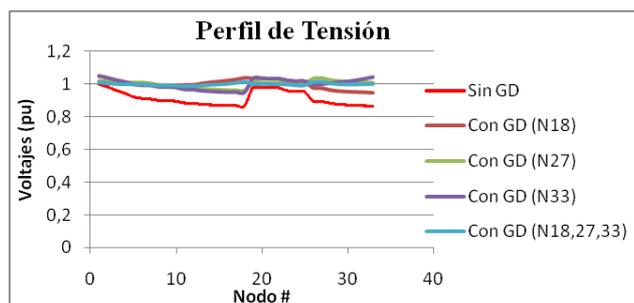


Figura 4. Perfil de tensión para los casos propuestos.

En la tabla 7 se ilustra la potencia activa que entrega la subestación (SE) y el (los) GD para cada caso de estudio. Los nodos con menor nivel de tensión para cada caso de prueba se presentan en la tabla 8.

CASO	FUENTE	NODO	P (pu)
1	SE	1	0,45
	GD	18	0,15
2	SE	1	0,220
	GD	27	0,380
3	SE	1	0,42
	GD	33	0,18
4	SE	1	0,213
	GD ₁	18	0,093
	GD ₂	27	0,064
	GD ₃	33	0,23

Tabla 7. Potencia activa entregada por cada fuente.

CASO	NODO	V (pu)
1	32	0,948
2	13	0,958
3	18	0,948

4	11	0,990
---	----	-------

Tabla 8. Voltajes nodales con GD.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se planteó una metodología para localizar y dimensionar GD con el fin de mejorar la regulación en sistemas de distribución, a partir del cálculo de indicadores de estabilidad y de la solución de un modelo matemático no lineal.
- La metodología planteada se aplicó a dos sistemas de prueba empleados en la literatura. Para cada sistema se realizaron cuatro casos de estudio donde se consideraba una ubicación diferente para obtener el dimensionamiento adecuado de los GD y se verificaba el comportamiento de los perfiles de tensión del sistema. En todos los casos desarrollados se mejoraron los niveles de tensión de todos los nodos, garantizando siempre que estos valores estuvieran dentro de los límites permitidos por la normativa vigente (Norma NTC 1340).
- Como era de esperarse los mejores voltajes para nodos diferentes a la subestación se obtuvieron en el punto de conexión de los generadores distribuidos y en puntos cercanos a este.
- En los casos propuestos se observa que al aumentar el número de generadores distribuidos que se conectan al sistema, el perfil de voltaje mejora significativamente, permitiendo que los niveles de voltaje se mantengan más estables, debido a que se reducen las caídas de tensión entre los nodos del sistema.
- La metodología propuesta en este trabajo es eficiente debido a que permite obtener buenos resultados mejorando la regulación del sistema, además su implementación es bastante sencilla pues los programas utilizados (MATLAB y GAMS) muestran alta eficiencia, ya que al programar el tiempo de ejecución es relativamente pequeño y los resultados guardan lógica y concordancia.
- La conexión de unidades de GD en los sistemas de distribución se convierte en una alternativa para mejorar los problemas operativos de la red como la regulación de tensión. Adicionalmente al ser un tipo de energía que puede emplear energías renovables, permite disminuir los impactos ambientales ocasionados por las generaciones de energía convencionales.
- Actualmente existen muchas tecnologías renovables que se encuentran en desarrollo y que presentan disminución en cuanto a los costos comparándolas con la generación de energía tradicional, lo que permite que en un futuro la conexión de los Generadores Distribuidos a los sistemas de distribución sea considerada cada vez más por las empresas del sector eléctrico en sus criterios de planeación.
- Debido al incremento de conexión de los GD a los sistemas de distribución es importante que se establezca una regulación clara alrededor de esta temática por parte de los organismos encargados.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gonen, T., "Electric power distribution system engineering", Mc Graw Hill, 1986.
- [2] Norma Técnica Colombiana NTC 1340, "Electrotecnia y tensiones nominales en sistemas de energía eléctrica a 60 Hz en redes de servicio público", Numeral 2.2.1., 1998.
- [3] Hegazy, Y. G., Salama, M., Chikhani, M., "Adequacy Assessment of Distributed Generation Systems Using Monte Carlo Simulation", IEEE Transactions on Power Systems, Vol 18, No. 1, February 2003.
- [4] Bae, I. S., Kim, J. O., Kim, J. C., Singh, C., "Optimal Operating Strategy for Distributed Generation Considering Hourly Reliability Worth", IEEE Transactions on Power Systems, Vol 19, No. 1, February 2004.
- [5] Dicorato, M., Forte, G., Trovato, M., "Assessing Distributed Generation in an Environmental-Constrained Energy Planning", IEEE Transactions on Power Systems, 2007.
- [6] Dicorato, M., Forte, G., Trovato, M. "Environmental-constrained Energy Planning Using Energy efficiency and Distributed-Generation Facilities", Renewable Energy, Elsevier, 2007.
- [7] Greatbanks, J., Popovic, D., Begovic, M., Pregelj, A., Green, T. C., "On Optimization for Security and Reliability of Power Systems with Distributed Generation", IEEE Bologna PowerTech Conference, June 2003, Bologna, Italy.
- [8] Chowdhury, A., Agarwal, S. K., Koval, D. O., "Reliability Modeling of Distributed Generation in Conventional Distribution Systems Planning and Analysis", IEEE Transactions on Industry Applications, September 2003.
- [9] Keane, A., O'Malley, M., "Impact of Distributed Generation Capacity on Losses", IEEE Transactions on Power Systems, 2006.
- [10] Vinoth, K., Selvan, M.P., "Planning and Operation of Distributed Generations in Distribution Systems for Improved Voltage Profile", Power Systems Conference and Exposition, PSCE '09. IEEE/PES. March, 2009.
- [11] Hernandez-Gonzalez, G., Abbey, C., "Effect of Adding Distributed Generation to Distribution Networks- Case Study 1: Voltage Regulation in 25kV Weak System with Wind and Hydro Generation Interconnected", Canada, 2009.
- [12] Garcés, A., Granada, M., Gallego, R.A., "Flujo de Carga Trifásico para Sistemas Radiales de Distribución", Scientia et Technica, 2004.
- [13] Manjunatha, S.K., Vittal, K.P., Seshagiri, P., "A Heuristic Approach for Distributed Generation Sources Location and Capacity Evaluation in Distribution Systems", IEEE, 2009.
- [14] www.mathworks.com
- [15] www.gams.com