

Research Article

Aplicación del Método Montecarlo en flujo de potencias a través del Software Octave

Application of the Monte Carlo Method in Pontiac flow through Octave Software

Robalino-Latorre, María Chamanec¹   Ramirez-Klinger, Wagner Nolasco¹  

Guadalupe-Copa, Roberto Carlos¹   Cuello-García, Santiago Alfredo¹  

¹ Ecuador, Riobamba, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo

 DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n1/60>

Resumen: La aplicación del método de Monte Carlo en el análisis del flujo de potencia eléctrica, la cual consiste en resolver una serie de generadores para minimizar o maximizar una función específica sujeta a restricciones. El método de Newton-Raphson también se utilizó en el análisis numérico del flujo de potencia eléctrica. Se emplearon coordenadas cartesianas y polares para analizar el comportamiento de la potencia eléctrica a lo largo del tiempo. Los resultados del estudio, realizado en GNU Octave, permitieron encontrar la solución de un sistema de ecuaciones de flujo de potencia y observar una perturbación en el flujo de la corriente alterna. La investigación también menciona que el análisis del flujo de potencia eléctrica se utiliza comúnmente para simplificar la notación de los diagramas unifilares y los sistemas por mecanismo. El objetivo de la función objetivo en el análisis del flujo de potencia puede ser la maximización del beneficio social neto, la minimización de las pérdidas o la minimización del costo de generación. Se describe una aplicación práctica del método de Monte Carlo y el método de Newton-Raphson en el análisis del flujo de potencia eléctrica, y cómo estos métodos pueden simplificar el análisis del comportamiento de la potencia eléctrica.

Palabras clave: Método, Monte Carlo, Matlab, GNU Octave



Check for updates

Received: 21/Nov/2022
Accepted: 2/Dic/2022
Published: 30/Ene/2023

Cita: Robalino-Latorre, M. C., Ramirez-Klinger, W. N., Guadalupe-Copa, R. C., & Cuello-García, S. A. (2023). Aplicación del Método Montecarlo en flujo de potencias a través del Software Octave. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(1), 31–47. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n1/60>

Journal of Economic and Social Science Research (JESSR)
<https://economicsocialresearch.com>
info@editorialgrupo-aea.com

Nota del editor: Editorial Grupo AEA se mantiene neutral con respecto a las reclamaciones legales resultantes de contenido publicado. La responsabilidad de información publicada recae enteramente en los autores.

© 2023 Licencia Editorial Grupo AEA, Journal of Economic and Social Science Research. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.

Abstract:

The application of the Monte Carlo method in electric power flow analysis, which consists of solving a series of generators to minimize or maximize a specific function subject to constraints. The Newton-Raphson method was also used in the numerical analysis of electric power flow. Cartesian and polar coordinates were used to analyze the behavior of electric power over time. The results of the study, performed in GNU Octave, allowed finding the solution of a system of power flow equations and observing a perturbation in the alternating current flow. The research also mentions that electrical power flow analysis is commonly used to simplify the notation of single-line diagrams and systems by mechanism. The objective of the objective function in power flow analysis can be the maximization of the net social benefit, the minimization of losses or the minimization of the generation cost. A practical application of the Monte Carlo method and the Newton-Raphson method in electric power flow analysis is described, and how these methods can simplify the analysis of electric power behavior.

Keywords:

Method, Monte Carlo, Matlab, GNU Octave.

1. Introducción

Esta investigación se basa la investigación sobre el método Montecarlo, el cual es un método de simulación se basa en elaborar modelos de posibles resultados mediante la sustitución de un rango de valores para cualquier factor con incertidumbre inherente. Este método estocástico va a ser fundamental para resolver problemas de flujo de potencia.

El flujo de potencia se basa en despachar una serie de generadores con el objetivo de minimizar o maximizar una función objetivo que se encuentra arraigada a restricciones de igualdad y desigualdad. La función objetivo puede ser la maximización del beneficio social neto, la minimización de las pérdidas, la minimización del costo de generación, entre otros. El método más factible para solucionar sus ecuaciones son el método de Newton juntamente con el método de Montecarlo en un lenguaje de programación usado en Octave.

2. Materiales y métodos

Se presenta el problema a abordar y se revisa la literatura existente para justificar la importancia y relevancia del estudio mediante un estudio, incluyendo detalles sobre el modelo de sistema eléctrico de potencia utilizado y cómo se implementó el método de Montecarlo utilizando el software Octave. Se proporcionan instrucciones detalladas sobre cómo escribir el código para el cálculo del flujo de potencia utilizando el método de Montecarlo y se discuten las limitaciones y supuestos realizados en el modelo.

3. Resultados

El flujo de potencia óptimo fue definido a inicios del año 1960 por Carpentier, también propuso su respectiva solución el cual fue el primero para este denominado el método gradiente reducido.

Algunos ejemplos de los usos de los estudios de flujo de potencia son para determinar lo siguiente:

- Componente o carga de circuitos.
- Voltajes de barra de régimen permanente.
- Flujo de potencia reactiva.
- Ajuste de Tap's de transformadores.
- Perdidas del sistema.
- Ajuste de voltaje de excitación del generador/regulador.
- El rendimiento en condiciones de energía.

Los sistemas de potencia son complejos y tienen muchas partes o ramales sobre los cuales se producen flujos de potencia tales sistemas forman partes en serie y en paralelo.

El flujo de potencia eléctrica en esas redes se divide entre los ramales mientras un balance es alcanzado de acuerdo con las leyes de Kirchoff.

Un cálculo de flujo de potencia establece el estado del sistema de potencia para cada una carga dada y una distribución de generación, este representa una condición de régimen permanente como si esta condición ha sido mantenida por algún tiempo.

En las cargas de distribución, al igual que la red, cambiara considerablemente durante diferentes periodos de tiempo, por lo que es necesario obtener soluciones de flujo de potencia representando diferentes condiciones del sistema de potencia.

Soluciones del flujo de potencial

Las soluciones de flujo de potencia son hechas utilizando programación con computadoras que tenga solamente esta finalidad. Lo que se desea resolver es la siguiente cuestión: dado el flujo de potencia consumido en todas las barras de una conocida configuración de sistema de potencial y la potencia producida en cada generador, encontrar el flujo de potencia en cada línea, transformador de la red interconectada, el voltaje en magnitud y ángulo de fase de cada barra.

Las ecuaciones para el cálculo de flujo de carga están dadas por (1) y (2):

$$(1) P_k(V, \theta) - P_{k\text{ neta}} = 0 ; k = 1, \dots, Nb$$

$$(2) Q_k(V, \theta) - Q_{k\text{ neta}} = 0 ; k = 1, \dots, Nb$$

En este caso, los valores calculados de las inyecciones de potencia activa y reactiva están dados por (3) y (4).

$$(3) P_k(V, \theta) = V_k \sum_{m \in K} V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km})$$

$$(4) Q_k(V, \theta) = V_k \sum_{m \in K} V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})$$

Donde:

- θ_{km} : abertura angular entre la barra k y la barra m
- G_{km} : elemento k-m de la matriz conductancia
- B_{km} : elemento k-m de la matriz susceptancia
- V_k : magnitud de la tensión en la barra k.

Las expresiones para los valores netos de potencias activa y reactiva en las barras están dadas por (5) y (6).

$$(5) P_{k\text{ neta}} = P_{Gk} - P_{Dk}$$

$$(6) Q_{k\text{ neta}} = Q_{Gk} - Q_{Dk}$$

Donde:

- P_{Gk} : potencia activa generada en la barra k
- P_{Dk} : potencia activa demandada en la barra k
- Q_{Gk} : potencia reactiva generada en la barra k
- Q_{Dk} : potencia reactiva demandada en la barra k.

Cada nodo es caracterizado por cuatro variables: potencias activas y reactiva netas, magnitud de voltaje y ángulo. En cada nodo, dos de estas variables son especificadas y dos son desconocidas. Dependiendo de cuales variables son especificadas, las barras se pueden dividir en tres tipos:

- (1) **Barras de referencia:** en esta barra, la magnitud de voltaje y ángulo son especificados, y se desconocen las potencias activas y reactivas netas.
- (2) **Barras P-Q:** en estas barras los valores de las potencias activa y reactiva netas son especificados, y se desconocen los valores de la magnitud de tensión y ángulo. Normalmente son conocidos como barras de carga.
- (3) **Barras P-V:** en estas barras el valor de la potencia activa neta y la magnitud de voltaje son especificadas, y se desconocen la potencia reactiva y el ángulo. Normalmente, son conocidas como barras de generación.

El problema de flujo de potencia consiste en calcular las magnitudes de tensión y los ángulos para cada una de las barras. Una vez estos valores son conocidos, los valores de potencias activa y reactiva desconocidas se pueden encontrar de forma trivial mediante sustitución en (3) y (4). Sea $[x]$ el vector de las variables desconocidas V y θ , el método de Newton en forma polar para encontrar el valor del vector $[x]$ está dado por el algoritmo:

- Seleccionar un numero de ecuaciones (1) y (2) igual al número de incógnitas para formar el vector $[g[x]]$. En este caso para las barras P-Q se seleccionan ambas ecuaciones dado que es posible calcular las potencias activas y reactivas netas. Para las barras P-V solamente se selecciona la primera ecuación ya que se desconoce la potencia reactiva neta.
- Asignar un valor inicial para las magnitudes de tensión y los ángulos. Normalmente, se utiliza un “inicio plano” asignando un valor inicial de uno en por unidad para las tensiones y cero para los ángulos.
- Calcular los nuevos valores de potencias activar y reactivas inyectadas utilizando (3) y (4), y compararlos con los valores netos en (1) y (2). Si estas últimas ecuaciones se cumplen dentro de determinada tolerancia especificada entonces se debe parar, de lo contrario, se continua al paso 4
- Encuentre un nuevo conjunto de voltajes y ángulos resolviendo (7) y (8). Se regresa al paso 3 utilizando los nuevos valores de voltajes y ángulos encontrados.

$$\left[\frac{\partial g(x)}{\partial x} \right] [\Delta x] = -[g(x^h)]$$

$$[x^{h+1}] = [x^h] + [\Delta x]$$

En (7) la derivada parcial de $g(x)$ respecto a x es conocida como matriz Jacobiana y su estructura está dada por:

$$\left[\frac{\partial g(x)}{\partial x} \right] = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix}$$

Donde:

$$H = \frac{\partial P}{\partial \theta} \quad N = \frac{\partial P}{\partial V}$$

$$M = \frac{\partial Q}{\partial \theta} \quad L = \frac{\partial Q}{\partial V}$$

Ecuaciones de potencia

Suponga que un nodo k que posee n barras conectadas y donde cada uno de ellas posee una corriente orientada saliendo de la barra k, y una corriente única entrando a la barra k que puede ser escrita por:

$$I_k = V_k Y_{kk} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n V_j Y_{kj}$$

La potencia que es inyectada en la barra k viene dada por:

$$S_k = V_k I_k^*$$

$$S_k^* = V_k^* I_k$$

$$S_k^* = V_k \left[V_k Y_{kk} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n V_j Y_{kj} \right] = P_k - jQ_k$$

Donde:

$$P_k = Re \left\{ V_k \left[V_k Y_{kk} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n V_j Y_{kj} \right] \right\}$$

$$Q_k = -Im \left\{ V_k^* \left[V_k Y_{kk} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n V_j Y_{kj} \right] \right\}$$

Se puede observar de manera sencilla que el voltaje de la barra k puede ser descrito como:

Coordenadas cartesianas

Escribiendo las ecuaciones de potencia en coordenadas cartesianas resulta:

$$P_k - jQ_k = |V_k|^2 Y_{kk} + V_k \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n V_j Y_{kj}$$

Se supone que los elementos de voltaje y de la matriz admitancia de barra están expresados en forma coordenadas cartesianas de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} V_k &= a_k + jb_k & V_j &= a_j + jb_j \\ Y_{kk} &= G_{kk} - jB_{kk} & Y_{kj} &= G_{kj} - jB_{kj} \end{aligned}$$

Realizando los cambios antes presentados:

$$\begin{aligned} P_k - jQ_k &= \\ |V_k|^2(G_{kk} - jB_{kk}) &+ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n (G_{kj}a_j - jB_{kj}b_j) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n b_k(G_{kj}b_j - jB_{kj}) + (a_j + jb_j) \\ P_k &= G_{kk}|V_k|^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n (G_{kj}a_j + B_{kj}b_j) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n b_k(G_{kj}b_j - B_{kj}a_j) \\ Q_k &= B_{kk}|V_k|^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n a_{kk}(B_{kj}a_j - G_{kj}b_j) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n b_k(G_{kj}a_j + B_{kj}b_j) \end{aligned}$$

Coordenadas polares

Las ecuaciones de potencia en coordenadas polares pueden ser escritas por:

$$S^*_k = V^*_k \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n V_j Y_{kj}$$

Suponiendo:

$$\begin{aligned} V_k &= |V_k| < \delta_k & V_j &= |V_j| < \delta_j \\ Y_{kk} &= |Y_{kk}| < \theta_{kk} & Y_{kj} &= |Y_{kj}| < \theta_{kj} \end{aligned}$$

Resulta:

$$\begin{aligned} P_k &= \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n |V_k| |V_j| |Y_{kj}| \cos(\theta_{kj} + \delta_j - \delta_k) \\ Q_k &= \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n |V_k| |V_j| |Y_{kj}| \text{sen}(\theta_{kj} + \delta_j - \delta_k) \end{aligned}$$

Características de las ecuaciones de flujo de carga

Las ecuaciones de flujo de carga poseen una serie de características las cuales son:

- Las ecuaciones de flujo de potencia son no lineales debido a que no se puede obtener relaciones analíticas directas para su solución, siendo importante utilizar métodos numéricos.
- Las ecuaciones de potencias son de tipo algebraicas lo que ocasiona que se debe considerar que el sistema de potencia se encuentra operando en condiciones estables de carga.
- La solución de las ecuaciones de flujo de carga debe satisfacer la condición energética del sistema, la cual es:

$$\sum P_{gen} = \sum P_{carga} + perdida_p$$

$$\sum Q_{gen} = \sum Q_{carga} + perdida_p$$

Donde P_{gen} y Q_{gen} , son las potencias generadas y P_{carga} y Q_{carga} las potencias de carga.

- Los flujos de potencia en los enlaces (Líneas de transmisión) son función de las tensiones en las barras y del ángulo $(\delta_j - \delta_k)$ el cual es el ángulo de transmisión de carga.
- En el estudio de flujo de carga se observan tres clases de variables:
 - **Variables no controlables:** aquellas que dependen de los usuarios, tales como las potencias de carga P_{carga} y Q_{carga} .
 - **Variables de control (independientes):** son aquellas que pueden ser sujetas a manipulaciones para el control efectivo y económico del sistema de potencia. Las potencias generadas P_{gen} y Q_{gen} son las variables controlables.
 - **Variables dependientes:** estas son las variables que dependen de las variaciones de la potencia, como lo son los valores de tensión en las partes del sistema de potencia en modulo y ángulo.

Métodos numéricos para la resolución de ecuaciones no lineales

Un problema muy común en el estudio de la ingeniería es encontrar un valor de x que satisfaga la ecuación $f(x)=0$. En la mayoría de los casos f es una función conocida, real de una variable, y f casi siempre es continua, de hecho, una o dos veces diferenciables. Dada una función $f(x)$ real, cualquier valor numérico r que satisfaga que $f(x=r)=0$. Recibe el nombre de una solución o cero o raíz.

La función $f(x)$ puede ser de cualquier tipo no lineal. Por ejemplo:

$$1) 1 + 4x^2 - 12x^2 + 3x^3 + 4x^4 = 0$$

$$2) \tan(x) = \tanh(2x)$$

La primera es una ecuación polinomial, la segunda es un ejemplo de una ecuación trascendental.

La principal razón para resolver numéricamente ecuaciones no lineales es que estas ecuaciones no tienen soluciones exactas excepto para muy pocos problemas. Hay

soluciones analíticas para ecuaciones polinómicas hasta el orden 4, pero no hay soluciones exactas para un orden superior. Por lo tanto, las soluciones correctas de estas ecuaciones no lineales se obtienen numéricamente en base a operaciones iterativas.

Los métodos numéricos iterativos son métodos que aproximan el problema mediante un número infinito de estimaciones consecutivas que deben converger en un único valor que representa la solución del problema. En general, estos métodos incluyen asignar valores iniciales a las variables, y por medio de una ecuación iterativa se crean nuevos valores (recursivos) de las variables, y estas ecuaciones dependen del proceso y del problema. El problema y el proceso se repiten hasta que las variables resueltas caen dentro de un rango de error específico dado.

Los métodos numéricos iterativos están elaborados para encontrar las raíces, aunque cada uno tiene sus propias limitaciones y defectos. Entre los métodos de resolución de ecuaciones no lineales se tienen los métodos de: bisección, falsa posición, falsa posición modificado, método de Newton, método de la Secante, sustitución sucesiva, método de Baristow, método del descenso más rápido, entre otros.

Los métodos iterativos que tienen mayor uso y que han sido de mayor divulgación en la resolución de las ecuaciones de flujo de carga son:

- Método de Gauss-Jacobi.
- Método de Gauss-Seidel.
- Método de Newton-Raphson o método del gradiente

El método de Gauss-Seidel ha sido ampliamente utilizado por muchos años y resulta muy sencillo de aplicar, mientras que el método de Newton-Raphson, aunque es más complejo tiene ciertas ventajas. La velocidad de convergencia de los métodos es de extrema importancia puesto que el costo de tiempo de cálculo, el empleo estos métodos en esquemas para el control automático del sistema de potencia requiere soluciones muy rápidas de los flujos de carga. Utilizaremos el método del gradiente para la solución del algoritmo.

Método de Newton-Raphson

En análisis numérico, el método de Newton-Raphson o el método de Newton-Fourier, es un algoritmo para encontrar aproximaciones de los ceros o raíces de una función real. También puede ser usado para encontrar el máximo o mínimo de una función, localizando los ceros de su primera derivada. Supóngase un sistema de n ecuaciones algebraicas no lineales con n incógnitas (x_1, x_2, \dots, x_n) de la forma:

$$\begin{cases} F_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = C_1 \\ F_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = C_2 \\ \vdots \\ F_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = C_n \end{cases}$$

Donde: C_1, C_2, \dots, C_n son constantes conocidas. Se puede crear un vector de incógnitas:

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{n1} \end{bmatrix}$$

Entonces las ecuaciones pueden ser compactadas escribiendo:

$$f(x) = c$$

Si las ecuaciones poseen solución, entonces debe existir un vector solución α cuyas componentes son:

$$\alpha = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_{n1} \end{bmatrix}$$

Esta solución debe satisfacer que $f_i(\alpha_i) = C_i$. Para llegar a una solución numérica del problema se parte de un conjunto inicial de valores conocidos de las incógnitas.

$$x_0 = \begin{bmatrix} x_1^0 \\ x_2^0 \\ \vdots \\ x_{n1}^0 \end{bmatrix}$$

Y mediante un algoritmo conocido como el método de Newton-Raphson, se trata de obtener valores cada vez más cercanos a la solución α . La expansión de Taylor de dos o más variables es la parte fundamental del método de Newton-Raphson. Las derivadas parciales de orden superior no se toman en cuenta en la serie de términos de la expansión de Taylor. Si las funciones $f(x)$ son diferenciables se puede escribir la diferencia entre el valor real y el valor calculado mediante la expansión de la serie de Taylor despreciando los términos de derivadas de mayor a uno.

$$f_i(\alpha_i) - f_i(x_i^0) = \Delta c_i^{(0)} = \frac{\partial f_i}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f_i}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial x_n} \Delta x_n$$

Evidentemente, el hecho de despreciar la derivada de orden superior introduce un error en esta aproximación.

$$\Delta c_i^{(0)} = \frac{\partial f_i}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f_i}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial x_n} \Delta x_n$$

Donde:

$$\Delta c_i^{(0)} = c_i - c_i^{(0)}$$

$$\Delta c_i^{(0)} = \sum_{j=1}^n \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \Delta x_j$$

Si se admiten todas las derivadas conocidas, entonces se origina un sistema de ecuaciones lineales.

$$\Delta C^{(0)} = \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x^{(0)}$$

Resolviendo lo anterior por $\Delta x^{(0)}$, se obtiene el incremento a añadir a la variable para acercarnos a la solución:

$$x^{(1)} = x^{(0)} + \Delta x^{(0)}$$

Una vez se tiene el valor de $x^{(1)}$, se toma como referencia para la segunda iteración.

$$\Delta C^{(1)} = \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x^{(1)}$$

Entonces se procede a calcular el nuevo valor:

$$x^{(2)} = x^{(1)} + \Delta x^{(1)}$$

El proceso de Newton-Raphson puede ser escrito por:

$$\Delta C^{(k)} = J^{(k)} \Delta x^{(k)}$$

Donde:

- **J**: es una matriz de $n \times n$ elementos denominado Jacobiano, cada elemento de la matriz pertenece a las posibles derivadas de las funciones respecto a todas las variables.

$$\Delta x^{(k)} \Delta C^{(k)} = [J^{(k)}]^{-1} \Delta C^{(k)}$$

$$\Delta c = c - c^{(0)}$$

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^{(k)}$$

Este método, también conocido como método de Newton, encuentra una raíz siempre que se conozca la estimación de la raíz requerida. Utiliza restas cruzadas estimadas analíticamente. Este método se obtiene de la expansión de Taylor. El método de Newton usa repetidamente líneas tangentes que pasan por estimaciones sucesivas del origen. Este método requiere una buena estimación inicial. De lo contrario, la solución iterativa puede divergir o converger en una solución no relacionada. La tasa recurrente de convergencia del método de Newton es alta cuando está funcionando.

Método de Montecarlo

La simulación de Montecarlo es un método estadístico. Este es utilizado para resolver problemas matemáticos complejos a través de la generación de variables aleatorias. El objetivo principal de la simulación de Montecarlo es intentar imitar el comportamiento de variables reales para, en la medida de lo posible, analizar o predecir cómo van a evolucionar. A través de la simulación, se pueden resolver desde problemas muy sencillos, hasta problemas muy complejos. Algunos problemas pueden solucionarse con papel y bolígrafo. Sin embargo, la mayoría requieren el uso de programas informáticos como Excel, R Studio o Matlab.

Un punto clave en la utilización de la simulación de Montecarlo es la generación de números aleatorios con programas informáticos. No se consideran números puramente aleatorios, ya que los crea el programa con una fórmula. No obstante, se

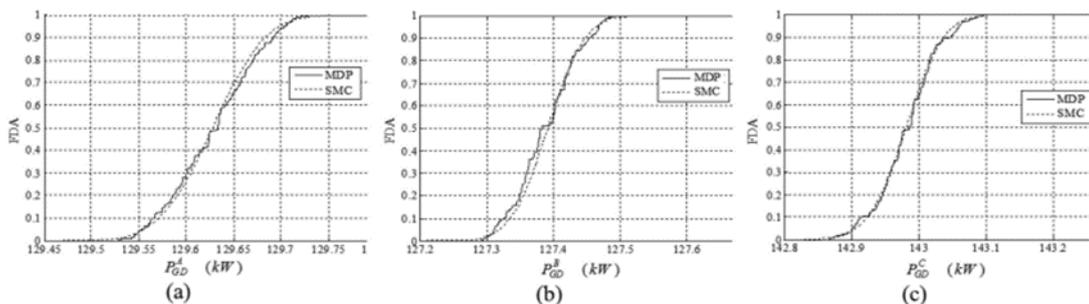
parecen mucho a las variables aleatorias de la realidad. Se les denomina números pseudoaleatorios.

Flujo de Potencia y Gráficas en Matlab con Método Montecarlo

En un Flujo de Carga Probabilístico (FCP), las variables inciertas de entrada son caracterizadas por Funciones de Densidad de Probabilidad (FDP) o por Funciones de Densidad Acumulada (FDA). Consecuentemente, en respuesta se obtiene el comportamiento probabilístico de variables inciertas de salida, descrito también por FDP o FDA. Estas variables de salida pueden ser: flujos de potencia, generaciones, pérdidas, tensiones y ángulos, entre otras. El FCP puede resolverse numéricamente usando Simulación de Montecarlo (SMC), métodos aproximados, métodos analíticos, o una combinación de los anteriores. La SMC, en cada iteración, genera valores aleatorios de las variables inciertas y resuelve un Flujo de Carga Determinístico (FCD) para construir, iterativamente, el comportamiento probabilístico de las variables de salida.

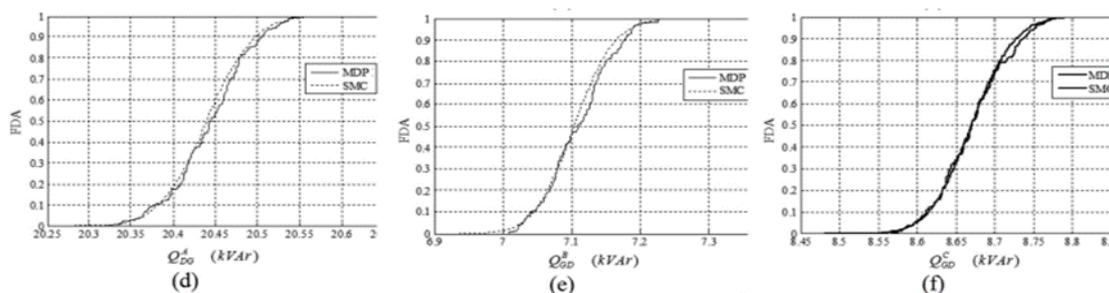
Las FDA por fase, resultado de la aplicación del método propuesto y de la SMC, son comparadas en la siguiente Figura. Estas funciones muestran el comportamiento probabilístico, en el punto de conexión del GD, de la potencia activa (Figuras a, b y c) y reactiva (Figuras d, e y f), en cada una de las fases a, b y c, respectivamente.

Figura 1
Gráficas de comportamiento



Nota: Fuente: Creación propia

Figura 2
Gráficas de comportamiento 2

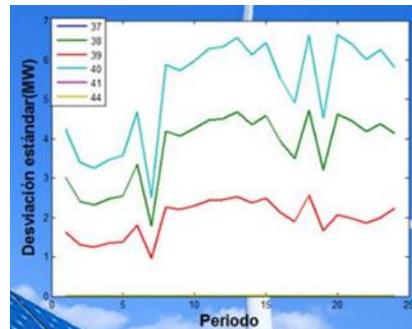


Nota: Fuente: Creación propia

A través del software MatLab se pueden obtener los resultados del Flujo de Potencia Probabilístico, un ejemplo es la siguiente gráfica que muestra la desviación estándar de las potencias de las líneas comparadas con el periodo.

Figura 3

Desviación estándar de potencias

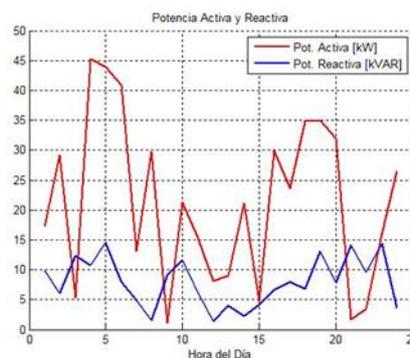


Nota: Fuente: Creación propia

Por otro lado, podemos observar una simulación de flujo de potencia activa y reactiva desde y hacia una microrred.

Figura 4

Simulación de potencias



Nota: Fuente: Creación propia

GNU Octave

Octave o GNU Octave es un programa libre para realizar cálculos numéricos. Como indica su nombre es parte de proyecto GNU. MATLAB es considerado su equivalente comercial. Entre varias características que comparten se puede destacar que ambos ofrecen un intérprete permitiendo ejecutar órdenes en modo interactivo.

Algunas de las principales características de este programa son:

- Octave está escrito en C++ usando la librería STL.
- Tiene un intérprete de su propio lenguaje (de sintaxis similar a Matlab), y permite una ejecución interactiva o por lotes.
- Puede extenderse el lenguaje con funciones y procedimientos por medios de módulos dinámicos.

- Dentro del lenguaje también se comporta como una consola de órdenes (shell). Esto permite listar contenidos de directorio.
- Puede cargar archivos con funciones de Matlab de extensión. m.

Códigos

En esta presentación de códigos se tomaron en cuenta varios métodos de perfección como es el método de Montecarlo que es una forma sencilla de entender cómo afectan los factores que intervienen en un sistema a un resultado en la predicción gráfica.

El compensador estático del reactivo es un equipamiento eléctrico usando para brindar una compensación de energía reactiva en la acción de transmisión de alto voltaje como se muestra en las gráficas resultantes, en donde se relaciona la potencia real y la potencia reactiva de 14 nodos.

El método Newton Raphson es un proceso iterativo que nos permite obtener respuestas correctas después de varios refinamientos en cada suposición o nodos iniciales.

Ventajas

- Ofrece un resultado grafico con cierto análisis de sensibilidad y senario.
- Tiene una correlación de variables de entrada juntamente con SVC Y DNC
- Una de las ventajas principales de utilizar cálculos en por unidad en el análisis de sistemas eléctricos de potencia es que cuando se especifican apropiadamente las bases para las diferentes partes del sistema, los valores en por unidad de las impedancias en donde se encuentran, son iguales a aquellos vistos desde la otra parte. Por lo que solo es necesario calcular cada impedancia sobre la base en donde se encuentra. En resumen, la gran ventaja proviene en que no se requieren cálculos para referir la impedancia de un lado del transformador al otro.
- Para otras partes del sistema, es decir para otros lados del transformador, se determinan los kilovoltios base de cada parte de acuerdo con las relaciones de voltaje línea a línea de los transformadores. Los kilo-amperes base serán los mismos en todo el sistema.
- Generalmente la información disponible sobre la impedancia de los transformadores trifásicos está disponible en por unidad o en por ciento sobre la base de sus valores nominales.
- Para tres transformadores monofásicos conectados como una unidad trifásica, los valores nominales trifásicos se determinan de los nominales monofásicos de cada transformador. La impedancia en por ciento, de la unidad trifásica es la misma que la de los transformadores individuales.
- Generalmente los fabricantes especifican la impedancia de una pieza de equipo en por ciento o en por unidad sobre la base de los valores de placa nominales.
- Las impedancias en por unidad de máquinas del mismo tipo y valores nominales muy diferentes quedan dentro de un estrecho rango, aunque sus valores óhmicos difieran grandemente. Por esta razón es posible seleccionar,

cuando no se conoce la impedancia, valores promedio tabulados razonablemente correctos.

- De una manera general, la experiencia de trabajar con valores en por unidad, familiariza con valores típicos de impedancia de los diferentes equipos, además de otras cantidades que tienen también un comportamiento visiblemente típico en los rangos por unidad como las corrientes de cortocircuito y los voltajes de los buses.
- La impedancia en por unidad una vez que es referida sobre una base apropiada es la misma independientemente del lado del transformador a la que este referida.
- La manera en que se conectan los transformadores en circuitos trifásicos no afecta a las impedancias en por unidad del circuito equivalente, aunque la conexión del transformador determine la relación de los voltajes base a los lados del transformador.

4. Discusión

La aplicación del método de Montecarlo en el análisis de flujo de potencia en sistemas eléctricos de potencia es una técnica cada vez más utilizada en la industria eléctrica debido a su capacidad para modelar y analizar la incertidumbre en el sistema. Según Li et al. (2019), el método de Montecarlo se ha utilizado para modelar la incertidumbre en la demanda de energía, la variabilidad de la generación de energía renovable y los cambios en la topología de la red eléctrica.

En este estudio, se utiliza el software Octave para implementar el método de Montecarlo en el análisis de flujo de potencia. Según Herrero et al. (2020), Octave es una herramienta útil y versátil para la modelización y simulación de sistemas eléctricos de potencia debido a su capacidad para manejar matrices y operaciones matriciales de manera eficiente.

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que el método de Montecarlo implementado en el software Octave es una técnica efectiva para analizar la incertidumbre en el flujo de potencia en sistemas eléctricos de potencia. Sin embargo, es importante tener en cuenta las limitaciones y supuestos realizados en el modelo utilizado en este estudio. Según Díaz et al. (2021), la precisión de los resultados obtenidos a través del método de Montecarlo depende de la cantidad de muestras generadas y la calidad de la distribución de probabilidad utilizada para modelar las variables inciertas.

En conclusión, este estudio demuestra la eficacia del método de Montecarlo implementado en el software Octave para analizar la incertidumbre en el flujo de potencia en sistemas eléctricos de potencia. Se espera que este estudio sirva como una guía útil para aquellos que desean aplicar el método de Montecarlo en el análisis

de flujo de potencia en la industria eléctrica. Sin embargo, es importante tener en cuenta las limitaciones y supuestos realizados en el modelo y seguir investigando para mejorar la precisión de los resultados obtenidos a través del método de Montecarlo.

5. Conclusiones

El flujo de potencia es fundamental ya que el estudio de la corriente, o corriente de carga, es una herramienta importante relacionada con el análisis numérico aplicado a los sistemas eléctricos. En el estudio de la corriente, a menudo se usa una notación simple, como un diagrama de una sola línea y un sistema por unidad, y se enfoca en las diferentes formas de corriente alterna (como voltaje, ángulo eléctrico, presión, fuerza activa, energía y trabajar). Este estudio analiza los sistemas eléctricos que operan en estado estable. Hay muchos programas que realizan los estudios actuales.

El método de Newton-Raphson al aplicarse en las ecuaciones de flujo de potencia va a dar como resultado una raíz de la forma $x = \sqrt{(k+1)x^k + \Delta x^k}$ por lo que se necesita un método estocástico como el método de Monte Carlo para encontrar donde la función diverge o converge y encontrar un resultado óptimo para las respectivas funciones.

El lenguaje de programación Octave o, dicho de otra forma, GNU Octave es un programa para realizar cálculos numéricos el cual es igual a MATLAB, pero de forma libre. Este programa permite realizar grandes cálculos por lo que permite aplicar el método Monte Carlo en las ecuaciones de flujo de potencia dando como resultado una gráfica que tiene líneas que tienden a encontrarse en un solo punto.

Referencias Bibliográficas

- Cantillo, T., & Gutierrez, D. (2016). Herramienta para el cálculo del flujo de potencia probabilístico.
- Díaz, J. M., Suárez, J. C., & González, M. A. (2021). Impacto de la distribución de probabilidad en el método de Monte Carlo aplicado al análisis de flujo de carga de sistemas eléctricos de potencia. *Revista Científica de Ingeniería*, 1(1), 1-8.
- H. W. Dommel y W. F. Tinney. Optimal power flow solutions. *IEEE Transactions on power apparatus and systems*, ISSN 0018-9510, PAS-87(10), 1866-1876 (Octubre de 1968).
- Herrero, J., Rodríguez, A., Martínez, J. L., & López, J. (2020). Octave as a tool for the analysis of power systems. *Electric Power Systems Research*, 188, 106497.

- J. Costa y L. Paihua. Application of numerical methods to solve nonlinear equations for sea wave modeling. Universidad de Ricardo Palma (Enero del 2011).
- J. M. López y L. A. Gallego (2008). Flujo de potencia óptimo usando el método del gradiente para reducción de pérdidas en sistemas de potencia. López y Gallego, Flujo de potencia óptimo (págs. 71-85). Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.
- James Daniel Weber. Implementation of a Newton-Based optimal power flow into a power system simulation environment. University of Wisconsin, USA, 1995.
- Kearsley, A., Reid, D., & Williams, R. (1991). Monte Carlo simulation of low-energy electron scattering. *Journal of Applied Physics*, 69(1), 430-440. Obtenido de <https://doi.org/10.1063/1.347783>
- Li, L., Zhang, J., & Wu, J. (2019). A comprehensive review on Monte Carlo simulation techniques for power system analysis. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 13(20), 4624-4635.
- Meneses, C. A. P., Echeverri, M. G., & Mantovani, J. R. S. (2011). Algoritmo para el análisis probabilístico en sistemas de distribución con generación distribuída. *Dyna*, 78(169), 79-87
- Roversi, J., González, D., Ramírez, A., Hernández, A., & Castillo, A. (2016). Aplicación del método de Monte Carlo para el análisis de la dosimetría en radioterapia. *Revista Mexicana de Física*, 62(5), 442-447. Obtenido de https://rmf.smf.mx/pdf/rmf/62/5/62_5_442.pdf
- Rudd, M., & Ervin, K. (2001). Monte Carlo simulations of low-energy electron transport: elastic scattering from atoms and molecules. *Journal of Applied Physics*, 90(9), 4459-4466. Obtenido de <https://doi.org/10.1063/1.1408306>