

SOLUCIÓN DEL DESPACHO DINÁMICO MULTI-OBJETIVO DE EMISIONES Y COSTO DE GENERACIÓN CON PUNTOS VÁLVULA MEDIANTE EL GA DE MATLAB

Vargas Rodríguez José Reyes (1), García Guzmán José Miguel (2), Ortega Herrera Francisco Javier (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato] | [reyesjvr16@gmail.com]

2 [Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato] | [migarcia@itesi.edu.mx, frortega@itesi.edu.mx]

Resumen

En este trabajo se presenta la solución del Despacho Óptimo de Generación Dinámico (DOGD) considerando un criterio multi-objetivo y puntos válvula. El objetivo básico del DOGD es programar la generación de potencia activa de las plantas generadoras en un tiempo determinado, tal que se minimice el costo de generación y las emisiones de gases contaminantes, tales como el CO, CO₂, SO₂ y NO_x, mientras se satisfacen las restricciones de igualdad y desigualdad. Para llevar a cabo el DOGD se integran las restricciones de límites de velocidad de las rampas de generación de potencia activa en el modelo de optimización del DOGD modelando este como un problema de optimización no lineal multi-objetivo, el cual es convertido en un problema mono-objetivo mediante la adición de un factor de penalización y utilizando el método de las ponderaciones. El efecto de los puntos válvula hace que el DOGD se transforme en un problema de optimización no convexo, cuya solución se determina mediante la herramienta de optimización de GA de Matlab. Un caso de estudio con el sistema de potencia de 10 generadores es llevado a cabo para un periodo de 24 horas. Los resultados obtenidos se comparan con los reportados en la literatura abierta.

Abstract

This work presents the solution of the Optimal Dynamic Generation Dispatch (ODGD) considering a multi-objective criterion and valve points. The basic goal of the ODGD is to schedule the generation of active power of the generating plants in a determined time, such that the generation cost and emissions of pollutant gases, such as CO, CO₂, SO₂ and NO_x, are minimized while being satisfied the equality and inequality constraints. In order to carry out the ODGD, the ramp rate limit constraints of the active power generation are integrated into the ODGD optimization model, modeling this as a multi-objective nonlinear optimization problem, which is converted into a mono-objective by adding a penalty factor and using the method of weights. The effect of the valve points causes the ODGD to become a non-convex optimization problem whose solution is determined by the Matlab GA optimization tool. A case study with the power system of 10 generators is carried out for a period of 24 hours. The results obtained are compared with those reported in the open literature.

Palabras Clave

Ponderación; Rampas; Algoritmos Genéticos; Contaminación; Factor de penalización

INTRODUCCIÓN

Las unidades generadoras basadas en combustibles fósiles liberan gases contaminantes como óxidos de azufre (SOx), óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxidos de carbono (CO₂) en la atmósfera [1]. Actualmente la contaminación atmosférica no solo afecta a los humanos, también afecta otras formas de vida, como son, animales, aves, pescados y plantas. Esta contaminación también provoca daños considerables al medio ambiente, por ejemplo, reducción de la visibilidad y el tan conocido efecto invernadero. Sin embargo, el actual incremento de la conciencia sobre el medio ambiente provoca que la sociedad demande una energía eléctrica adecuada y segura, no solo al precio más barato posible, si no, también al mínimo nivel de emisiones [1]. Actualmente el Despacho Óptimo de Generación Dinámico y de Emisiones juega un rol muy importante en el despacho de sistemas de potencia, debido a que este método de análisis se encarga de asignar una potencia para cada unidad generadora de acuerdo a la carga prevista durante un periodo, con el objetivo de minimizar los costos de generación y los niveles de emisiones contaminantes, siempre y cuando se satisfagan las restricciones de igualdad y desigualdad. Cuando se realiza un análisis de Despacho Dinámico también se presentan los límites de velocidad de generación de las rampas, este efecto se conoce como las tarifas máximas especificadas para cada unidad de generación en la que la salida de una puede incrementarse o decrecer en un intervalo de tiempo, si las rampas se violan en una unidad de generación, se acortara la vida útil del rotor debido a los cambios bruscos de potencia generada, debido a que en una operación práctica, la generación cambia con la demanda [2]. Otro efecto que ocurre en la operación práctica de un generador eléctrico son los puntos válvula, dicho efecto se traduce a la apertura mecánica de las válvulas de combustible para obtener una mayor potencia en los alabes de la turbina de generación provocando un aumento en la potencia generada, este efecto ocasiona que las funciones objetivo de costos y emisiones se conviertan a funciones objetivo no-convexas. Resolver este tipo de Despacho Óptimo de Generación Dinámico requiere de técnicas de optimización heurísticas, ya que las funciones a minimizar son multi-objetivo y no convexas. Por esta razón resulta importante proponer métodos o utilizar herramientas alternas

que permitan resolver de manera confiable y eficiente este tipo de problemas de optimización. En este artículo se utiliza el toolbox de Matlab de algoritmos genéticos para resolver el problema de DOG considerando un criterio multi-objetivo y funciones no conexas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Formulación del Despacho Óptimo de Generación y Emisiones Dinámico.

La siguiente formulación trata el problema del despacho óptimo de generación y emisiones dinámico como un problema de criterio multi-objetivo, sin embargo, con la adición de un factor de penalización de emisiones dicho problema, se convierte a uno mono-objetivo, las siguientes funciones objetivo y restricciones consideran el efecto de las rampas y los puntos válvula.

Función objetivo de costos.

La función objetivo de costos de cada unidad de generación, considerando el efecto de los puntos válvula, es expresada como la suma de una función cuadrática y una función sinusoidal [1], el costo total del combustible en términos de potencia activa puede ser expresado como sigue en (1).

$$F_T(P_i) = \sum_{i=1}^{ng} a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 + \left| d_i \sin \left[e_i (P_{i\min} - P_i) \right] \right| \quad (1)$$

En la Ecuación (1) P_i y k_i ($k_i=a, b, c$) representan la potencia activa y los coeficientes de la curva de costo del generador i , respectivamente, mientras que los coeficientes d_i y e_i corresponden a los coeficientes de entrada/salida de la curva del efecto de los puntos válvula, dichos coeficientes están dados en \$/hr, rad/MW respectivamente.

La ecuación 1 presenta el efecto de los puntos válvula, este efecto se representa gráficamente en la Imagen 1, donde se observa como el efecto de los puntos válvula modifica una función convexa convirtiéndola a una función no convexa. De igual manera para el caso de la ecuación 2 el efecto de los puntos válvula modifica la ecuación, tal y como se muestra en la Imagen 2.

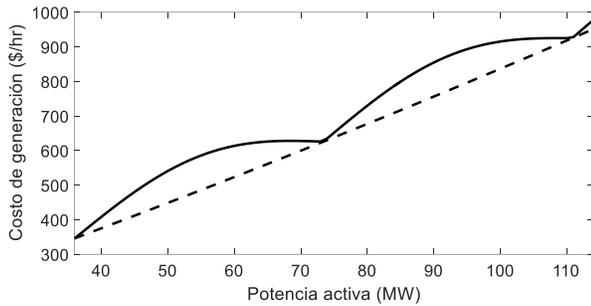


IMAGEN 1: Función de costos de generación modificada con la adición del efecto de los puntos válvula.

Función objetivo de emisiones.

Las contaminaciones atmosféricas como sulfuros de óxido (SOx) y óxidos de nitrógeno (NOx) causados por la generación basada en combustibles fósiles puede ser modelada de forma separada, sin embargo, para propósitos de comparación, las emisiones totales de estos contaminantes es la suma de una función cuadrática y una función exponencial [1], puede ser expresado como sigue en (2).

$$E_T(P_i) = \sum_{i=1}^{ng} \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 + \eta_i \exp(\delta_i P_i) \quad (2)$$

En la Ecuación (2) los coeficientes η_i y δ_i representan los coeficientes de emisiones debido al efecto de los puntos válvula, dados en ton/hr y 1/MW respectivamente.

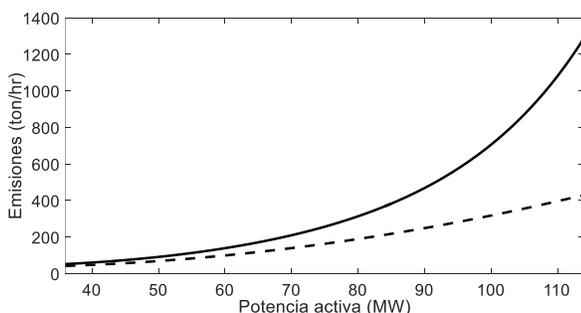


IMAGEN 2: Función de emisiones modificada con la adición del efecto de los puntos válvula.

Restricciones de igualdad y desigualdad.

En la formulación del despacho óptimo de generación y emisiones dinámico existe una

restricción de igualdad, la cual modela el balance de potencia activa. Esta restricción se expresa mediante la Ecuación (3).

$$\sum_{i=1}^n P_i - P_D - P_L = 0 \quad (3)$$

La restricción de igualdad (3) se satisface cuando la potencia total de generación es igual a la suma de la potencia demandada P_D y las pérdidas en los elementos de transmisión P_L .

Las pérdidas de transmisión P_L , en la Ecuación (3), son representadas mediante una expresión cuadrática que es función de la potencia activa inyectada a los buses. Esta expresión es llamada fórmula de Kron y es dada por,

$$P_L = \sum_{i=1}^{ng} \sum_{j=1}^{ng} P_{Gi} B_{ij} P_{Gj} + \sum_{i=1}^{ng} B_{0i} P_{Gi} + B_{00} \quad (4)$$

donde P_i y P_j son la potencia activa inyectada en el bus i y j , respectivamente, y los coeficientes B son representados por el término B_{ij} . Los coeficientes B representan una aproximación de las perdidas en el sistema.

Además de la restricción de igualdad anterior, también se debe satisfacer el siguiente conjunto de restricciones de desigualdad a variables,

$$P_{i\min} < P_{it} < P_{i\max} \quad (5)$$

Esta restricción de desigualdad modela los límites de generación de cada generador i , de modo que evita que los generadores operen fuera de sus límites físicos y operacionales. Es importante mencionar que la restricción (3) siempre se mantiene activa durante el proceso de optimización, mientras que la restricción (5) solo se activa cuando un generador viola su límite inferior o superior.

Cuando se realiza el estudio del despacho dinámico se debe considerar el efecto de los límites de velocidad de generación de las rampas [2], dichos límites están dados por (6)

$$\begin{aligned} P_{it} - P_{i(t-1)} &\leq UR_i \\ P_{i(t-1)} - P_{it} &\leq DR_i \end{aligned} \quad (6)$$

donde, $P_{i(t-1)}$ es la potencia generada por la unidad i en el tiempo $(t - 1)$ en MW, UR_i y DR_i son los límites

rampa superior e inferior respectivamente de la unidad de generación i dados en MW/hr.

El efecto de las rampas dado por (6) modifica la restricción de desigualdad dada en (5) como se muestra a continuación (7)

$$\max(P_{i_{\min}}, P_{i(t-1)} - DR_i) \leq P_{it} \leq \min(P_{i_{\max}}, P_{i(t-1)} + UR_i) \quad (7)$$

Función objetivo combinada.

El problema del despacho económico y de emisiones combinado se puede formular combinando dos funciones objetivo independientes, que son, la función de emisiones y la función de costos del combustible, dicha combinación se logra utilizando un factor de penalización de emisiones. De esta manera el problema bi-objetivo se expresa como un problema mono-objetivo [3].

La función objetivo combinada del despacho económico y despacho de emisiones es representada como sigue [4],

$$\phi_T = \omega_{eco} F_T + \omega_{emi} h E_T \quad (8)$$

En la Ecuación (8) el término ϕT representa el costo total de operación en \$/hr, el termino h es el factor de penalización de emisiones dado en \$/ton, los términos ω_{eco} y ω_{emi} son conocidos como factores de ponderación. Dichos términos pueden ser ajustados en varias configuraciones, por ejemplo, el caso en que $\omega_{eco}=1$ y $\omega_{emi}=0$ es usado para obtener un despacho económico clásico, por otro lado, si lo que se busca es un despacho de emisiones puro entonces basta con definir que $\omega_{eco}=0$ y $\omega_{emi}=1$. Para obtener un despacho económico y de emisiones combinado ambos factores deben ser iguales, por ejemplo, que $\omega_{eco}=0.5$ y $\omega_{emi}=0.5$ [4].

El factor de penalización de emisiones h presentado en la ecuación (8) combina las emisiones con el costo de combustible, el factor está dado por (9).

$$h_i = F_i(P_{i_{\max}}) / E_i(P_{i_{\max}}) \quad (9)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un caso de estudio con el sistema de 10 generadores [1] es llevado a cabo con el fin de ilustrar las bondades de la herramienta utilizada para resolver el problema del despacho óptimo de generación y emisiones dinámico. La potencia demandada en los intervalos de tiempo es presentada en [1] al igual que los coeficientes de pérdidas en los elementos de transmisión. La simulación es llevada a cabo considerando un máximo de 20 generaciones, un tamaño de población igual a 100 y una fracción de cruce de 0.9, la simulación se realizó en una computadora personal marca Dell con procesador Intel (R) Core i7-5500U CPU a 2.40 GHz y una memoria RAM de 6 GB en un sistema operativo de 64 bits. Para la solución de este caso de estudio se consideran los factores de ponderación similares para obtener una optimización tanto de costos como de emisiones. Dichos factores son $\omega_{eco}=0.5$ y $\omega_{emi}=0.5$. En la Tabla 1 se muestran los resultados comparados con la bibliografía.

Tabla 1: Comparativa de resultados del despacho de costo y emisiones

Parámetro	Propuesta	[1]
Costo ($\times 10^6$ \$)	2.5222	2.5251
Emisiones ($\times 10^5$ lb)	2.9622	3.1246

Como se observa en la Tabla 1, el costo total de generación obtenido mediante la herramienta GA de Matlab en el intervalo de tiempo de 24 Hr. resulta menor que el resultado presentado en la bibliografía, de igual manera los niveles de emisiones resultan ser menores en la propuesta presentada. En base a los resultados de la tabla 1 confirmamos que la herramienta propuesta es confiable para resolver el problema de despacho óptimo de generación y emisiones dinámico, por lo que resulta muy útil para evaluar la operación óptima de sistemas de potencia.

En la Imagen 3 se presentan los costos del combustible para cada una de las cargas demandadas a lo largo del horizonte del tiempo.

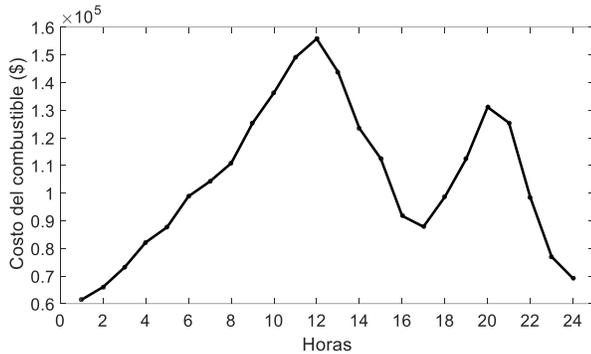


IMAGEN 3: Costos de combustible en el periodo de 24 Hr.

Los niveles de emisiones que se obtuvieron mediante la solución de la herramienta GA de Matlab se presentan en la Imagen 4.

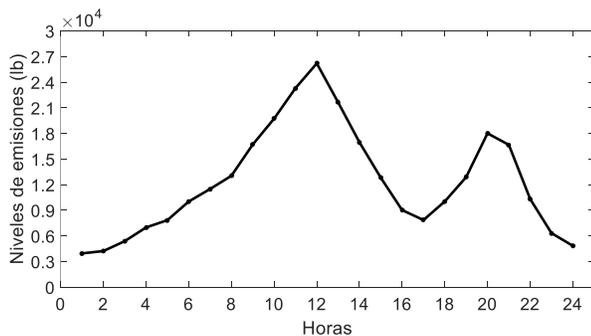


IMAGEN 4: Niveles de emisiones en el periodo de 24 Hr.

En este caso de estudio se consideraron las pérdidas en los elementos de transmisión, por lo tanto es de esperarse que la potencia total generada sea mayor a la carga demandada, como se muestra en la Imagen 5.

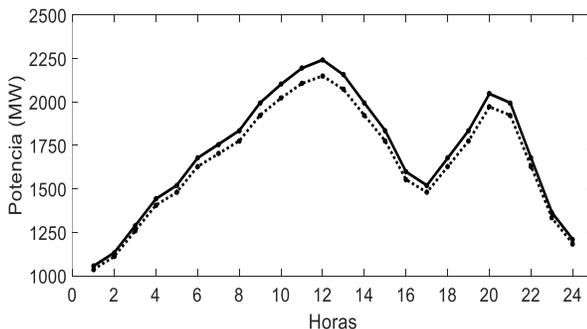


IMAGEN 5: Potencia generada por el sistema para satisfacer la carga demanda en el periodo de 24 Hr.

CONCLUSIONES

Una solución del despacho óptimo de generación y emisiones dinámico considerando un criterio multi-objetivo y funciones no convexas mediante la herramienta de algoritmos genéticos (AG) de Matlab ha sido presentada. Los resultados son obtenidos muestran que la herramienta propuesta es confiable para resolver el problema despacho óptimo de generación y emisiones dinámico, por lo que resulta muy útil para evaluar la operación óptima de los sistemas eléctricos de potencia.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales al profesor M.I. Jose Miguel García Guzmán por el apoyo brindado durante el desarrollo de esta investigación, de igual manera agradecer al Instituto Tecnológico Superior de Irapuato por los servicios e instalaciones que se facilitaron durante la estancia necesaria para este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Basu, M., (2008). Dynamic economic emission dispatch using nondominated sorting genetic algorithm-II. Elsevier, pp. 140-149.
- [2] Hemamalini, S., Simon, S. P., (2010). Dynamic economic dispatch using artificial bee colony algorithm for units with valve-point effect. European transactions on electrical power, 21, 70-81. doi: 10.1002/etep.413
- [3] Güvenc, U., Sönmez, Y., Duman, S., Yörükeren, N., (2012). Combined economic and emission dispatch using gravitational search algorithm. Scientia Iranica, 19(6), pp. 1754-1762. doi: 10.1016/j.scient.2012.02.030
- [4] Gopalakrishan, R., Krishnan, A., (2013). An efficient technique to solve combined economic and emission dispatch problem using modified Ant colony optimization. Sadhana, 38(4), pp. 545-556