

APLICACIONES DE LA INVESTIGACION DE OPERACIONES EN LA INGENIERIA ELECTRICA DE POTENCIA

Patricio A. Rebolledo Reyes

Empresa Nacional de Electricidad S.A.
Casilla 1392, Santiago, Chile

OBJETIVO DEL TRABAJO

Estudio y aplicación de técnicas de investigación de operaciones en Ingeniería Eléctrica de Potencia, realizadas en la Empresa Nacional de Electricidad S.A. ENDESA-CHILE.

INTRODUCCION

Existe un número importante de aplicaciones, que para la obtención de soluciones óptimas, requieren de técnicas de investigación de operaciones. Muchas de ellas deben manejar un volumen considerable de variables y alternativas de cálculo, lo que hace necesario el uso de computadores que permitan llevar a la práctica dichas técnicas de optimización.

Ejemplos de lo anterior expuesto, lo constituyen la utilización de la Programación Dinámica en la Programación de la Generación de Centrales Eléctricas y en el Diseño de Líneas de Transmisión. Estas aplicaciones son el motivo de este trabajo, en el cual se desarrollan modelos que utilizan las técnicas de investigación de operaciones anteriormente mencionadas.

DESARROLLO DEL TRABAJO

I. ¿QUE ES LA PROGRAMACION DINAMICA?

La Programación Dinámica es una técnica de investigación de operaciones, que se basa en el principio de optimidad desarrollado por R. Bellman, que en su concepto fundamental dice : "Si se considera una trayectoria óptima entre dos puntos A y B (función F); bajo ciertas condiciones y, en particular, si hemos elegido adecuadamente el espacio en el cual se representan las evoluciones del sistema, toda porción MN de esta trayectoria es en sí óptima entre todas las posibles trayectorias de M a N.

Esto es así, ya que si existiera una mejor trayectoria MN, por ella pasaría la trayectoria óptima de A a B. Sin embargo, para que esto sea verdadero la contribución de la porción de trayectoria MN a la función F sólo debe depender de M y N, y no de las porciones AM y NB de la trayectoria". Ver figura 1.

II. PROGRAMACION DINAMICA EN LA PROGRAMACION DE GENERACION DE CENTRALES ELECTRICAS

La programación de generación de centrales tiene gran importancia económica en la generación eléctrica, ya que optimiza el uso de recursos energéticos de una central.

En este trabajo, se ha desarrollado un modelo que confecciona una "tabla de operación" para una central, la cual indica como repartir una determinada potencia entre las máquinas de la central, de manera de minimizar el gasto total. La minimización se consigue mediante el uso de la programación dinámica, conociendo la curva potencia-gasto de cada máquina, sin considerar la regulación de frecuencia y el mayor desgaste a que están sujetas las máquinas de mayor rendimiento. Además, el modelo contempla la posibilidad de realizar la repartición económica considerando una de las máquinas de la central como motor síncrono, lo que permite obtener alternativas con mayor respaldo de energía.

El modelo de optimización, construye máquinas equivalentes, cuya tabla potencia-gasto se forma con la contribución de potencia de 2 máquinas de la central, de manera que el gasto de la máquina equivalente sea mínimo para cada potencia de generación. La máquina equivalente, así formada, constituye la programación económica de generación para 2 máquinas de la central.

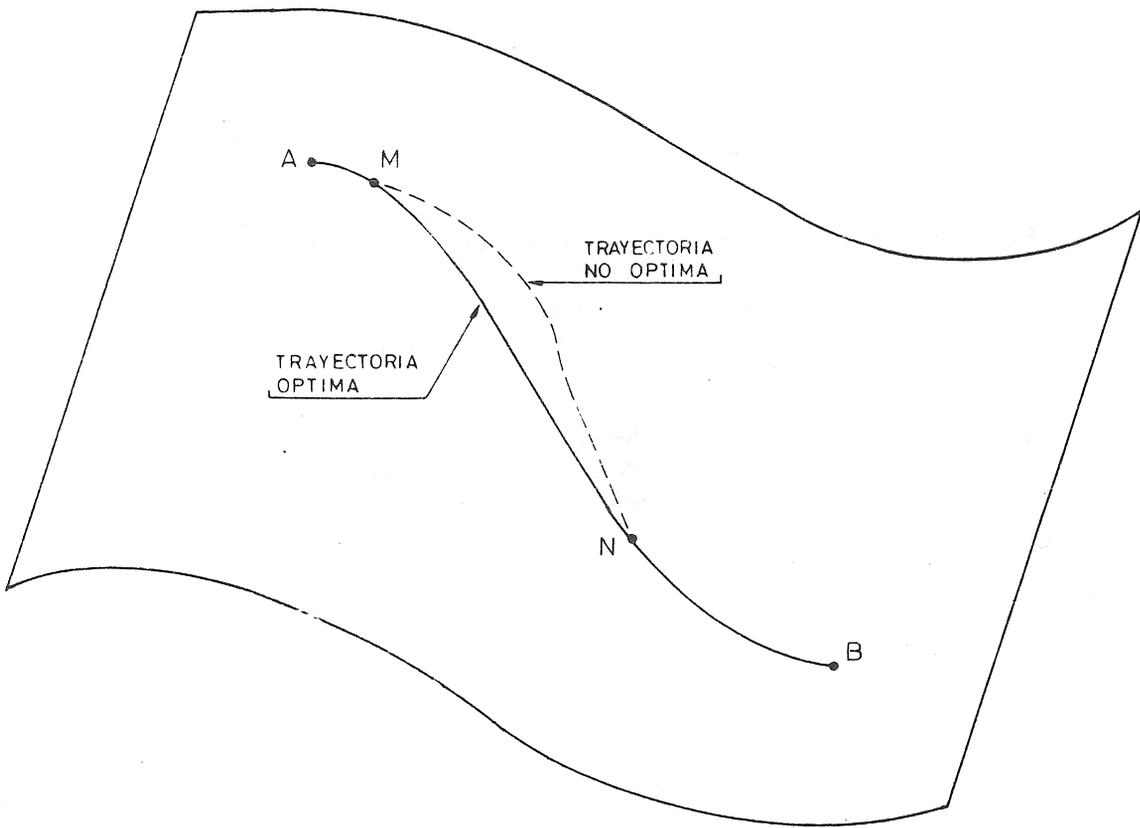


FIGURA 1

	1	2	3	4	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3-4	1-2-3	1-2-4	1-3-4	1-2-3-4
P_1	Q_1^1	Q_1^2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_2	Q_2^1	Q_2^2												
\vdots	\vdots	\vdots												
P_n	Q_n^1	Q_n^2												

FIGURA 2

Para obtener la programación económica de generación para 3 máquinas de la central, se aplica el mismo modelo anterior, construyendo una nueva máquina equivalente, la cual se forma con contribuciones de potencia de una máquina de la central y una máquina equivalente formada en un paso previo de cálculo.

La programación económica de generación de la central, se consigue aplicando el modelo hasta completar todas las posibles combinaciones con las máquinas de la central.

Un ejemplo de aplicación del método de optimización se muestra en la figura 2.

La figura 2 representa una tabla de operación de una central con 4 máquinas. Las primeras 4 columnas, constituyen la tabla de potencia-gasto de cada una de las máquinas, la cual se utiliza como base para la formación de máquinas equivalentes (nuevas columnas) que permitan obtener la programación económica de generación de la central.

ESPECIFICACIONES DEL PROGRAMA DE COMPUTACION :

El programa de computación que realiza la programación de generación de centrales eléctricas, tiene las siguientes características :

- Permite realizar estudios de centrales de hasta 6 máquinas.
- Utiliza 255 Kbytes de memoria, para 400 MW de potencia máxima de la central (puede ser ampliada).
- El tiempo de UCP para cada estudio es aproximadamente 1 minuto, en un computador IBM 370/138.
- Permite realizar estudios normales o considerando una de las máquinas como motor síncrono, de manera de obtener estudios con respaldo de energía.

III. PROGRAMACION DINAMICA EN EL DISEÑO DE LINEAS DE TRANSMISION

En el diseño de líneas de transmisión, la selección y ubicación de estructuras constituye uno de los factores más importantes, ya que éste afecta directamente los aspectos técnicos y económicos del diseño de la línea.

Soluciones anteriores a este problema, requerían de la técnica manual, empleando plantillas con las trayectorias de los conductores, las que se aplican sobre el perfil del terre-

no. La buena calidad de este método, se basa en la experiencia del proyectista y es eficiente sólo en el caso de tramos cortos de línea.

Actualmente, el uso de computadores digitales, ha permitido el desarrollo de programas de computación que permiten realizar la selección y ubicación de estructuras. Sin embargo, la mayoría de estas soluciones se basan en una simulación optimizada del procedimiento manual y no siempre entregan las soluciones óptimas esperadas. Entre estos, uno de los programas de computación más difundidos es el "Transmission Line Design Program for the IBM S/360 Computer", desarrollado por Virginia Electric and Power Company.

La figura 3 muestra un tramo intermedio de línea, donde el problema es encontrar la trayectoria de mínimo costo hasta A1 (una de las posibles alturas de estructuras en la estación A). Los puntos Bi corresponden a uniones del conductor con las estructuras de la línea que han sido ubicadas en pasos previos de cálculo. Cada uno de ellos tiene asociado una trayectoria que lo conecta con la primera estructura de la línea y un costo que es el mínimo para dicha trayectoria.

Para determinar la trayectoria de mínimo costo hasta A1, bastará con conectar este punto con algún Bi. Sin embargo, no todos los puntos Bi pueden conectarse con A1, por ejemplo, en la figura, sólo es posible conectar A1 con los puntos B2 y B3.

B1 no puede conectarse con A1, ya que este punto está ubicado a una distancia mayor que el vano máximo permisible.

B4 no puede conectarse directamente con A1, ya que de hacerlo, la curvatura de la trayectoria del conductor cortaría el perfil del terreno.

B5 no puede conectarse con A1, ya que este punto está a menor distancia que el mínimo vano posible.

Finalmente, de todos los puntos posibles de conectar con A1, se elige el de menor costo que cumpla con las restricciones técnicas.

El algoritmo continúa analizando, según el procedimiento descrito, todas las posibles alturas en A, originando de este modo, un conjunto de puntos de costos mínimos, que pasarán a formar parte del conjunto de puntos Bi para el cálculo en la próxima estación A.

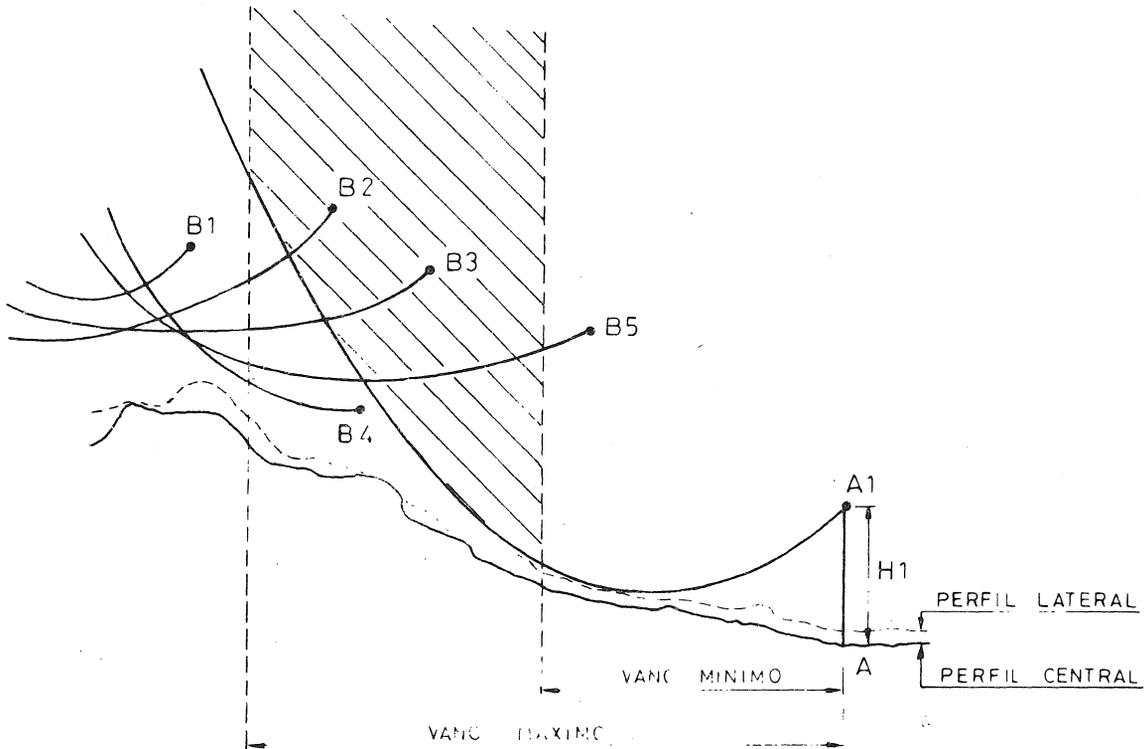


FIGURA 3

En resumen, dado una estación A y una altura de torre H1, el desarrollo del algoritmo contempla los siguientes pasos :

1. Se determina el punto A1, ubicando la estructura de altura H1 en el perfil central del terreno.
2. Desde A1 se traza la parábola tangente al perfil lateral del terreno, esto es así, ya que la altura de trabajo de las estructuras es inferior a la altura real, en una distancia igual a la altura mínima del conductor al suelo; y es tangente al perfil lateral, ya que en él están contempladas las mayores alturas del terreno.

3. Se seleccionan los puntos B_i que están comprendidos entre vano máximo, vano mínimo y por encima de la parábola mencionada anteriormente.
4. Del conjunto de puntos seleccionados se determina el punto de mínimo costo y que cumpla las restricciones técnicas.
5. Conectar el punto B_i elegido con A_1 e incrementar el costo de A_1 con el costo acumulado en B_i .

En teoría, el sistema contempla una gran cantidad de combinaciones alternativas de ubicación de estructuras que deben ser consideradas, sin embargo, una gran cantidad de estas combinaciones son físicamente irrealizables o son subóptimos matemáticos que son descartados durante el trazado de la línea. Al final del proceso, una información base se ha construido, la cual está constituida por un conjunto de trazados de líneas de costos mínimos para cada punto discreto del terreno y un posterior proceso desde el terminal de más bajo costo (entre el conjunto de terminales de costos mínimos) produce el diseño de línea óptimo.

ESPECIFICACIONES DE PROGRAMAS DE COMPUTACION :

El sistema que optimiza la selección y ubicación de estructuras, está dividido en tres estados. El primero valida los datos perforados y prepara los cálculos para la optimización final; el segundo realiza los cálculos que permitan determinar la solución óptima del problema y el último estado realiza la graficación de la línea en un trazador.

Para realizar los procesos mencionados anteriormente, el sistema dispone de cuatro programas de computación.

1. Programa Preeditor : Detecta los errores de inconsistencia de los datos que definen el perfil topográfico. Ocupa 30 Kbytes de memoria y demora aproximadamente 2 minutos de UCP en un computador IBM 370/138, para un perfil del terreno con 30.000 estaciones.
2. Programa Editor : Realiza modificaciones sobre los datos del perfil, de manera que puedan ser utilizados en el programa de optimización. El programa ocupa 26 Kbytes de memoria y demora aproximadamente 3 minutos de UCP en un computador IBM 370/138, para una línea con 30.000 estaciones de perfil.

3. Programa Diseñador : Realiza la selección y ubicación óptima de estructuras. El programa ocupa 70 Kbytes de memoria principal y 30 Mbytes de memoria auxiliar en disco magnético.
4. Programa Trazador : Realiza la graficación de la línea, incluyendo el perfil topográfico y las estructuras seleccionadas por el programa Diseñador. Ocupa 50 Kbytes de memoria y demora aproximadamente 2 minutos de UCP en un computador IBM 370/138 y 30 minutos de trazador, para una línea con 30.000 estaciones de perfil y 100 estructuras.

IV. OTRAS APLICACIONES DE INVESTIGACION DE OPERACIONES

Entre otras aplicaciones desarrolladas en la Empresa Nacional de Electricidad S.A. ENDESA-CHILE que utilizan técnicas de investigación de operaciones, podemos mencionar la Planificación de Sub-Estaciones de Distribución de Energía Eléctrica, en la cual se utilizan algoritmos de recorrido mínimo y de transporte; y el Sistema Automático de Alambrado y Tendido de Cables de Centrales y Sub-Estaciones Eléctricas, el cual utiliza algunas técnicas de la teoría de grafos.

REFERENCIAS

1. AHLBORG, Fredrik and Yngve Palm. Optimun Tower Spotting on Transmission Lines by Means of Electronic Computer. Swedish, Swedish State Power Board, 1962. 28 p. (Blue-White Series, 33).
2. BELLMAN, Richard E. and Stuart E. Dreyfus. Applied Dynamic Programming. Princeton, N.J., Princeton University Press, 1964. 363 p.
3. CHECA, Luis María. Líneas de Transporte de Energía. Barcelona, Marcombo, 1973. 417 p.
4. KAUFMAN, A. Métodos y Modelos de la Programación Dinámica. México, D.F., Compañía Editorial Continental, 1967. 567 p.
5. LAVANCHY, Ch. Etude et Construction des Lignes Electriques Aériennes. París, Librairie J.B. Bailliere et Fils, 1952. 638 p.
6. TRANSMISSION Line Design Program (Tower Spot) for the IBM S/360 Computer. Richmond, Virginia, Virginia Electric and Power Company System Planning Department, 1968. p.i.