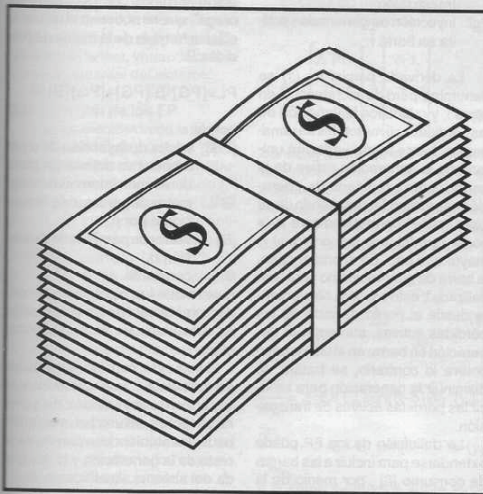


Mercados de energía eléctrica argentino y chileno

Evaluación y uso de los factores de penalización



RESUMEN

La desregulación del sector eléctrico de potencia en Argentina y Chile, sobre la base de la competencia entre generadores y la creación de condiciones de mercado para las transacciones de energía y potencia, sujeto a un esquema de operación coordinada óptima en pool; ha originado la necesidad de calcular costos y fijar tarifas. Los factores de penalización, que cuantifican una diferenciación temporal y espacial en el despacho óptimo económico, son utilizados en este proceso. Este trabajo describe algunos aspectos conceptuales y algorítmicos, como así también la aplicación, de estos factores en relación al costo marginal de generación y tarificación de la demanda en los mercados de energía eléctrica de ambos países.

1. INTRODUCCION

El proceso de desregulación del sector eléctrico de potencia fue liderado por Chile, estableciendo el marco legal fundamental [1] en el año 1982, con posteriores modificaciones de parte de su articulado en 1986, 1988 y 1990. La responsabilidad de la planificación de la operación del Sistema Interconectado Central (SIC) Chileno está radicada [2] en el Centro de Despacho Económico de Carga del SIC

□ Diego Moitre
Ingeniero Mecánico-
Electricista
Programa de Postgrado
en Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería
Pontificia Universidad
Católica
Santiago, Chile

□ Luis Aromataris
Ingeniero Mecánico-
Electricista
Departamento Electricidad
y Electrónica
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de
Rio Cuarto
Rio Cuarto, Argentina

15
.....

(CDEC-SIC). En 1992, Argentina inicia el proceso con la promulgación de la legislación correspondiente [3], organización del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) [4] y sus modificaciones, asignándose la coordinación de la operación y administración del MEM al Organismo Encargado del Despacho, actualmente la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (CAMMESA). Básicamente, los objetivos del CDEC-SIC y la CAMMESA son coincidentes en lo que atañe a la operación de los respectivos sistemas eléctricos de potencia en forma óptima económica, preservando la seguridad del servicio. Para el cumplimiento de estos objetivos, se planifica la operación haciendo uso de modelos: GOL y OMSIC en Chile, OSCAR y MARGO en Argentina, obteniéndose la programación semanal de la generación y el despacho económico diario de carga, que en ambos casos es uninodal. Al producirse la operación en tiempo real, en general ocurren desbalances entre ésta y la programada, que dan lugar a transacciones entre las empresas de generación, sobre la base de precios marginales horarios, con los factores de penalización (FP) de barra como elemento de ponderación. Las ventas de los generadores a los distribuidores se realizan bajo un sistema de precios marginales "promediados" o "estabilizados", que contempla además los costos de transporte, también ponderados por los FP. El presente trabajo revisa aspectos conceptuales y algorítmicos, que conforman la estructura teórica y computacional, que sustenta la aplicación práctica de los FP, con el enfoque propio de la ingeniería de sistemas eléctricos de potencia, en los mercados de energía eléctrica de Chile y Argentina.

2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

a. Definiciones

Los FP se definen en el despacho económico clásico de potencia activa sólo para las barras de generación [5], por la expresión:

$$FP_i = \left[1 - \frac{\partial PL}{\partial P_{gi}} \right]^{-1} \quad (1)$$

donde:

PL: pérdidas activas totales de transmisión

Pgi: inyección de generación activa en barra i

La derivada parcial en (1) se denomina pérdida incremental en barra i, y cuantifica la variación de las pérdidas activas totales de transmisión, frente a una variación unitaria de la generación activa de la barra i, para un estado de operación específico. Dependiendo de su valor, el FP correspondiente a la barra i podrá ser menor, igual o mayor que uno. En el primer caso, la barra de generación no será "penalizada", esto es, será conveniente desde el punto de vista de las pérdidas activas, aumentar la generación en barra; en el último caso ocurre lo contrario, se tratará de disminuir la generación para reducir las pérdidas activas de transmisión.

La definición de los FP puede extenderse para incluir a las barras de consumo [6], por medio de la expresión:

$$FP_j = \left[1 + \frac{\partial PL}{\partial P_{cj}} \right]^{-1} \quad (2)$$

donde:

Pcj: inyección de consumo activo en barra j

Esta extensión permite la utilización de los FP en la tarificación, vinculando el valor de referencia

del costo marginal de un sistema uninodal, con los precios marginales en las distintas barras de consumo.

Conceptualmente, es posible interpretar a los FP en barras generadoras desde dos enfoques diferentes [5], [6]. El primero considera que la variación en la inyección de generación activa en la barra correspondiente, es compensada por una variación igual, pero de signo contrario en la demanda equivalente del centro de carga del sistema, permaneciendo fijas las restantes generaciones. Este es el enfoque de los "FP del centro de carga", que se obtienen al utilizar la clásica fórmula de la matriz de pérdidas B:

$$PL = [PG]^T B [PG] + [PG]^T B + B \quad (3)$$

donde:

[PG]: vector de inyección de n generaciones activas (generadores mas interconexiones)

B: matriz de pérdidas de dimensión n por n.

[B]: vector de pérdidas de dimensión n.

B: constante.

puesto que las hipótesis que conducen al cálculo de los coeficientes B, coinciden con ésta interpretación.

El segundo, considera una barra de referencia, que compensa la variación de la inyección de generación activa, en una barra determinada, manteniéndose constante el resto de la generación y la demanda del sistema. Analíticamente:

$$\Delta P_r + \Delta P_{gi} = \Delta PL \quad (4)$$

ya que al cambiar el estado inicial del sistema, se produce un cambio en los flujos de potencia activa, lo que se refleja en una variación de las pérdidas activas. Luego de (4) se obtiene:

$$-\frac{\Delta P_r}{\Delta P_{gi}} = 1 - \frac{\Delta PL}{\Delta P_{gi}} \equiv 1 - \frac{\partial PL}{\partial P_{gi}} \quad (5)$$

Los FP calculados a partir de (5), se denominan "FP de la barra de referencia", y se obtienen vía un flujo de potencia.

Puede probarse que:

$$FP_i^R = FP_i^P / FP_{ref}^R \quad (6)$$

donde el miembro izquierdo de la igualdad es el FP del centro de carga para la barra i , el primer factor del miembro derecho es el FP de la barra de referencia para la barra i y la constante de proporcionalidad entre ambos es el FP del centro de carga para la barra de referencia. A los efectos de un despacho económico, ambos enfoques producen el mismo despacho de la generación activa, variando solo el costo incremental del sistema.

b. Evaluación de los FP

La fundamentación de la fórmula de la matriz B de pérdidas (3) se basa en la teoría de transformaciones entre marcos de referencia [7] la que da lugar a desarrollos clásicos [8], [9], [10], y posteriores aplicaciones en despacho económico, como por ejemplo [11], [12]. Su aplicación exige distintos juegos de matrices B para reflejar mas adecuadamente el estado del sistema y posibles variaciones de su topología. Parte del procedimiento usual para calcular una matriz B requiere correr dos flujos de potencia, uno llamado "caso base" (que podría corresponder, por ejemplo, a la condición de máxima carga del sistema) y otro llamado "caso no base" (por ejemplo, condición de mínima carga del sistema) [5], [13]. El cálculo de los FP de la barra de referencia, puede realizarse a partir del Jacobiano correspondiente a un flujo de potencia Newton - Raphson, o bien a partir de una aproximación de un flujo de potencia lineal [6]. El primer método requiere la solución del sistema:

$$||J|| \begin{bmatrix} \Delta P_r \\ \Delta P_g \\ \Delta P_r \\ \Delta Q_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial P_r / \partial \delta \\ \partial P_r / \partial \delta \\ \partial P_r / \partial \delta \\ \partial E / \partial \delta \end{bmatrix} \quad (7)$$

donde la matriz de coeficientes es la transpuesta del Jacobiano evaluada en el estado de operación. El lado derecho de (7) se obtiene diferenciando la ecuación de balance

de potencia correspondiente a la barra de referencia.

El segundo método exige hallar la solución del sistema:

$$||A|| \begin{bmatrix} \Delta PL \\ \Delta P_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial PL / \partial \delta \\ \partial \delta \end{bmatrix} \quad (8)$$

donde la matriz de coeficientes es la transpuesta de la matriz de admitancia de barras, eliminada la fila y columna correspondiente a la barra de referencia. Cada término del lado derecho de (8) es de la forma:

$$\frac{\partial PL}{\partial \delta_i} = \sum \frac{\partial PL_i}{\partial \delta_i} \quad (9)$$

con

$$\frac{\partial PL_i}{\partial \delta_i} = 2 |E_i| |E_j| \sin(\delta_i - \delta_j) \text{Re} (y_{ij})$$

$$\frac{\partial PL_i}{\partial \delta_j} = -2 |E_i| |E_j| \sin(\delta_i - \delta_j) \text{Re} (y_{ij})$$

y la suma se efectúa sobre todas las barras i vinculadas por una línea de transmisión a la barra j .

Tanto los FP del centro de carga, calculados a partir de (3), como los FP de la barra de referencia, calculados a partir de (7) o bien de (8), dependen de la condición de operación del sistema de potencia y de su topología, a través de las tensiones de barra (en magnitud y fase) y de la matriz de admitancia de barras.

3. USO DE LOS FP EN LOS MERCADOS

Existen tres ámbitos en los mercados claramente diferenciados [6] [14]: en el primero se realizan las ventas de los generadores y distribuidores a los grandes consumidores, por cantidades, precios y condiciones pactadas libremente (sin intervención del centro de despacho); en el segundo se realizan las transacciones entre generadores valorizadas a costo marginal horario mas los cargos correspondientes por transporte. Esta valoración es calculada por el Centro de Despacho (CDEC-SIC en Chile o CAMMESA en Argentina) haciendo uso de los correspondientes modelos para la programación económica de corto plazo; como en ambos mercados se considera un esquema uninodal, se utilizan los FP de barras de generación (o su inversa, en el caso del MEM, denominado "factor de nudo" [14]) para transferir el costo marginal horario del centro de carga equivalente del sistema a las distintas barras de generación. En el tercer ámbito, se realizan las ventas de los generadores a los distribuidores, valorizadas a partir de un "precio de nudo" en el mercado chileno o un "precio de referencia estacional" en el mercado argentino. Ambos están conformados por un promedio ponderado de los costos marginales de operación futuros esperados, adicionándole los costos marginales por pérdidas de transmisión, en cuyo cálculo se utilizan los FP de barras de consumo, para transferir el precio del mercado a las barras correspondientes. Finalmente, también en este ámbito se realiza la venta de energía de los distribuidores a los consumidores finales al correspondiente precio mas el valor agregado por la distribución. La introducción de estos precios promediados en los mercados tiene por objetivo estabilizar las tarifas de los pequeños usuarios finales, independizándolas de las fluctua-