

## Planificación Hidrotérmica a Corto Plazo: optimización de un modelo acoplado de flujos no lineales en red.

F.Javier Heredia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departament d'Estadística i Investigació Operativa  
Universitat Politècnica de Catalunya

### RESUMEN

El Modelo Acoplado del problema de Planificación Hidrotérmica a Corto Plazo permite optimizar conjuntamente el sistema hidráulico, térmico y la red de transmisión mediante la resolución de un único problema de flujos no lineales en red con restricciones laterales. Este trabajo describe el modelo matemático, los resultados computacionales y las posibles extensiones del método.

**Palabras y frases clave:** Hydro-thermal Scheduling, Spinning Reserve, Security Constraints, Electricity Generation, Nonlinear Network Optimization, Side Constraints

**Clasificación AMS:** 00A69, 73K40, 90B10, 68N99

## 1 Introducción

Por problema de Planificación Hidrotérmica a Corto Plazo (PHCP) se entiende la optimización del proceso de producción y transmisión de la energía eléctrica desde los centros de generación a los centros de consumo, a lo largo de un periodo que oscila entre 24 horas a una semana. En concreto, dado un sistema de producción de energía eléctrica formado por  $Nr$  embalses,  $Nu$  generadores térmicos, una red de transmisión con  $Nm$  vínculos y  $Nb$  barras y  $Nl$  puntos de consumo, se quiere encontrar, para cada intervalo  $i$  en el que se subdivide el periodo total, los valores de descargas ( $d_k^i$ ), volúmenes ( $v_k^i$ ) y vertidos ( $s_k^i$ ) de los  $Nr$  embalses, la generación de cada unidad térmica ( $P_j^i$ ) y los flujos de potencia en las  $Nm$  líneas de la red ( $p_m^i$ ) de transmisión que minimizan los costes (no lineales) de generación  $\sum_{i=1}^{Ni} c_g(P_j^i)$  de las unidades térmicas, donde  $Ni$  indica el número total de intervalos. Esta minimización se suele hacer sujeta a una serie de restricciones que aseguren unos valores mínimos de reserva incremental  $R_I^i$  y decremental  $R_D^i$  a cada intervalo. También suele ser habitual adoptar la aproximación de corriente continua en la descripción de la red de transmisión. Otras restricciones no tan habituales suelen ser las que limitan la

emisión de agentes polucionantes a la atmósfera y restricciones de seguridad en la red.

## 2 Modelo Acoplado Planificación Hidrotérmica

La forma habitual de resolver el problema (PHCP) consiste en la resolución *desacoplada* de un subproblema térmico y de un subproblema hidráulico. Véase, por ejemplo, Li et al (1993) y Wang y Shahidehpour (1993). Los trabajos de Heredia y Nabona (1994) y (1995) y de Chiva et al. (1995) desarrollan un modelo integral de flujos no lineales en redes que permite una resolución *acoplada* de los sistemas hidráulico, térmico y de transmisión. Este modelo se basa en el concepto de *Red Térmica Equivalente*  $(RTE)_j^i$ . La  $(RTE)_j^i$  consiste en un grafo dirigido que permite modelizar el estado del generador térmico  $j$  en el intervalo  $i$ , entendiéndose por estado el valor de la potencia  $P_j^i$  su reserva incremental  $r_{Ij}^i$  y decremental  $r_{Dj}^i$ . La disponibilidad del conjunto de redes  $(RTE)_j^i$  permite integrar dentro de una única *red ampliada* la red replicada que modeliza el sistema hidráulico y la red de transmisión. Gracias a esta integración, el problema (PHCT) puede plantearse como un único problema de flujos no lineales en red con restricciones laterales, al que llamaremos *Modelo Acoplado de Planificación Hidrotérmica* (MAPH). Este modelo ha sido resuelto mediante el paquete de optimización no lineal general MINOS (Murtagh y Saunders (1987)) y mediante el código especializado NOXCB (Heredia y Nabona (1992)). Se presentan y discuten los resultados obtenidos para diversos sistemas de producción y variantes del modelo MAPH, incluyendo la ampliación del modelo con la inclusión de restricciones de seguridad.

## Referencias

- Li, Ch., P.J. Jap, D.L. Streiffert (1993). *Implementation of Network Flow Programming to the Hydrothermal Coordination in an Energy Management System*. IEEE Transactions on Power Systems, 8 (1993) 1045-1053.
- Wang, C., M. Shahidehpour (1993) *Optimal Generation Scheduling for Constrained Multi-Area Hydrothermal Power Systems with Cascaded Reservoirs*. Journal of Optimization Theory and Applications. Vol. 78, No. 1, July 1993.
- Heredia, F.J., N. Nabona (1994) *Development and Computational Tests of an Undecoupled Optimum Short-Term Hydrothermal Scheduling Code using Network Flows*. TOP, 2 (1994) 105-132.
- Heredia, F.J., N. Nabona (1995) *Optimum Short-Term Hydrothermal Scheduling with Spinning Reserve through Network Flows*. IEEE Transactions on Power Systems, vol. 10, no. 3, August 1995, pp. 1642-1651.
- Chiva, A.; Heredia, F.J. & N. Nabona (1995) *Network model of short-term optimal hydrothermal power flow with security constraints*. "Stockholm Power Tech, International Symposium on Electric Power Engineering" Proceedings. vol. PS, 67-73.

- Murtagh, B.A., M.A. Saunders (1987) *MINOS 5.1 User's Guide*. Technical Report SOL 83-20R, Dept. of Operations Research, Stanford University, 1987.
- Heredia, F.J., N. Nabona (1992) *Numerical implementation and computational results of nonlinear network optimization with linear side constraints*. Proceedings of the 15th IFIP Conference on System Modelling and Optimization. P. Kall editor. Springer-Verlag, 1992, 301-310.