Un Modelo de Despacho para el Análisis de Indisponibilidad de Capacidad de Generación y Transmisión del Sistema Eléctrico Peruano

Jorge Hans Alayo Gamarra

20 de septiembre de 2013

1. Introducción

En una empresa de transmisión habitualmente realiza análisis técnicos que involucran la adecuación del despacho de generación ante diversos escenarios de mantenimientos en donde se indisponen varios equipos de la red. La información esencial para el análisis es básicamente el despacho de las unidades de generación sin prestar atención a la hidrología, reservorios, tiempos de viaje y otros aspectos que son competencia del operador del mercado.

Según lo anterior, es necesario un modelo de despacho que permita modelar las características del sistema peruano pero sin complicar los datos requeridos por el modelo ni que tome en cuenta aspectos irrelevantes para la empresa de transmisión como por ejemplo el manejo de los embalses, la interrelación de las cuencas del sistema peruano, los tiempos de viaje y otros detalles que son representados en los modelos de despacho clásicos.

En este trabajo se presenta un modelo de despacho aplicado para los propósitos de una empresa de transmisión que considera los datos disponibles y la información relevante para los análisis de la empresa.

2. El Modelo Matemático

Los datos más difíciles de manejar para una empresa de transmisión estan relacionados con la hidrología de las centrales hidráulicas. El modelo propuesto relaja el modelamiento de generadores hidráulicos considerando simplemente un generador con costo variable cero y adecuando la capacidad de generación para modelar la disminución de capacidad disponible por periodos de estiaje. Asimismo el modelo propuesto tambien relaja las restricciones de rampa de carga, costo de arranque y costo de parada pues el modelo se formula para únicamente un punto de operación.

La red es modelada por un conjunto de nodos N y cada nodo tiene un ángulo θ_i $i \in N$. Asimismo en cada nodo existe una demanda d_i. El sistema de transmisión esta conformado por un conjunto de caminos L y cada camino tiene un número de corredores n_{ij} en donde $ij \in L$. El flujo por cada camino está dado por f_{ij}. Cada camino tiene una suceptancia b_{ij} y una capacidad $\bar{f}_{ij}$ asociada.

La oferta de generación esta dada por un conjunto de generadores G; cada generador g_k esta conectado a una barra $i \in N$ asociada al conjunto de nodos. Asimismo, cada generador tiene un determinado costo variable π_k, una capacidad máxima de generación $\bar{g}_k$ y una capacidad mínima $\underline{g}_k$. El estado de conectado o desconectado de cada generador es modelado por la variable binaria u_k y la disponibilidad de cada unidad esta dada por el parámetro binario s_k

Finalmente, existe una cantidad de potencia no suministrada r_i en cada barra con un costo asociado α. El modelo consiste en minimizar el costo operativo sumado al costo de racionamiento sujeto a las restricciones de la red. Las variables de decisión son los despachos de cada generador g_k, el estado de cada generador u_k, el racionamiento en cada barra r_i, los ángulos en las barras θ_i y los flujos en los caminos f_{ij}. La formulación matemática se presenta a continuación:

$$\text{Minimizar} \quad \sum_{k \in G} \pi_k \cdot g_k + \sum_{i \in N} \alpha \cdot r_i$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned}
&\sum_{ji \in L} f_{ji} - \sum_{ij \in L} f_{ij} + \sum_{k \in G} g_k + r_i = d_i && \forall i \in N \\
&f_{ij} = n_{ij} \cdot b_{ij} \cdot (\theta_i - \theta_j) && \forall ij \in L \\
&|f_{ij}| \leq n_{ij} \cdot \bar{f}_{ij} && \forall ij \in L \\
&g_k \leq \bar{g}_k \cdot u_k \cdot s_k && \forall k \in G \\
&g_k \geq \underline{g}_k \cdot u_k \cdot s_k && \forall k \in G \\
&r_i \leq d_i && \forall i \in N \\
&r_i \geq 0 && \forall i \in N \\
&\sum_{k \in \Omega_1} u_k \leq 1 && \Omega_2 \\
&\theta_{slack} = 0 && \\
&u_k \text{ binarias} && \forall k \in G
\end{aligned}$$

La primera de restricción consiste en el balance de potencia en cada nodo $i \in N$. La segunda restricción representa al flujo por cada camino y es igual a la suceptancia del camino multiplicada por la diferencia angular de los nodos que une el camino. La tercera restricción modela el flujo f_{ij} el cual no puede exceder la capacidad de cada camino $\bar{f}_{ij}$. La quinta y sexta restricción representan que el depacho de cada generador no debe exceder sus límites. Finalmente, la restricción de estados del conjunto Ω_2 sirve para representar diversos modos de operación Ω_1 de una misma unidad; por ejemplo los ciclos combinados tienen diversos modos de operación . Si un modo de operación esta activo, no puede existir otro modo de operación activo para la misma unidad.

3. Aplicación del modelo

Para modelar la indisponibilidad de equipos en el modelo basta con manipular los parametros n_{ij} y s_k de modo de representar la indiponibilidad de líneas o unidades de generación respectivamente. El modelo fue implementado en CPLEX utilizando el lenguaje OPL. Los datos de entrada consisten en una tabla con las barras y la demanda asociada, una tabla de caminos con los parametros asociados y una tabla de unidades de generación con sus parametros asociados. El modelo permite encontrar si existen restricciones de suministros refljeados en las variables r_i, asi como el redespacho necesario cuando se indisponen líneas de transmisión o unidades de generación.

A. Formulación del modelo en CPLEX

```
/*********************************************
* OPL 12.4 Model: Flujo de Potencia Optimo
* Author: jalayo
* Creation Date: 09/10/2012 at 11:53:25
*********************************************/

/* Definicion de conjuntos */
string Generadores=...;
int Nb=...;
range Barras=1..Nb;
int Nl=...;
range Lineas=1..Nl;
int slack=...;

/* Definicion de parametros */
float d[Barras]=...;

float Barra[Generadores]=...;
float g_max[Generadores]=...;
float g_min[Generadores]=...;
float costo[Generadores]=...;
float state[Generadores]=...;

float alpha=...;
float Sbase=...;

int bus_i[Lineas]=...;
int bus_j[Lineas]=...;
float x[Lineas]=...;
float f_max[Lineas]=...;
int nijo[Lineas]=...;
range B=0..1;

/* Definicion de variables de decision */

dvar float r[Barras];
dvar float g[Generadores];
dvar float fij[Lineas];
dvar float theta[Barras];
dvar int u[Generadores] in B;

/* Definicion de modelo matematico */
minimize sum(i in Generadores ) costo[i]*g[i] + sum(j in Barras) alpha*r[j];
```

```
subject to{

forall(i in Barras) CMg:
(sum( j in Lineas : bus_j[j]==i)fij[j]) + (sum(j in Lineas : bus_i[j]==i) -fij[j])
+ (sum(k in Generadores : Barra[k]==i) g[k]) == d[i]-r[i];

forall(l in Lineas)
fij[l] == Sbase*(theta[bus_i[l]]- theta[bus_j[l]])*nijo[l]/x[l];

forall(l in Lineas)
fij[l] <= 1.4*f_max[l]*nijo[l];

forall(l in Lineas)
fij[l] >= 1.4*-f_max[l]*nijo[l];

forall(i in Generadores)
g[i] >= g_min[i]*state[i]*u[i];

forall(i in Generadores)
g[i] <= g_max[i]*state[i]*u[i];

theta[slack]==0;

forall(i in Barras)
r[i] <=d[i];

forall(i in Barras)
r[i] >=0;

/* Restricciones de modo de operacion - ejemplo para 1 modo */
ChilcaTG1:

u[“Chilca CC TG1 Gas ”]+u[“ Chilca TG1 Gas ”]+ u[“ Chilca CC TG1 TG2
TG3 Gas ”] + u[“ Chilca CC TG1 TG2 Gas”] + u[“ Chilca CC TG1 TG3 Gas
”] <=1;
}
```

Referencias

[1] Wood, A., Wollenberg, B., “Power Generation Operation and Control”