

OPTIMIZACIÓN DEL DESPACHO HORARIO DE ENERGIA

CENTRALES CORANI Y SANTA ISABEL

Helmer Rodriguez¹

Resumen

A fin de cubrir la demanda de energía en el Sistema Interconectado Nacional (SIN), el Centro Nacional de Despacho de Carga (CNDC) asigna diariamente la carga horaria a cada una de las centrales que componen el SIN boliviano. Con el fin de optimizar el uso de agua en dos centrales, Corani y Santa Isabel, se ha determinado la mejor combinación de operación de unidades en ambas centrales para cada carga horaria, considerando que el coeficiente de productividad de cada unidad varía principalmente con la potencia. El trabajo consideró dos etapas: en la primera se utilizó un caudalímetro ultrasónico portátil en las tuberías de presión para medir el caudal turbinado en cada carga, obteniendo relaciones de productividad para cada unidad $Q = f(P)$, resultados que permitieron obtener la eficiencia hídrica de las unidades de cada central. En la segunda etapa, para una determinada hora se halló la repartición de carga en cada una de las cuatro unidades de Corani (cinco en el caso de Santa Isabel) de manera que el conjunto de unidades funcionando deberá ser tal que su consumo de agua sea menor que el de cualquier otra combinación que también satisface el requerimiento. Esta combinación óptima fue determinada mediante optimización no lineal. Los resultados son utilizados diariamente para despachar la energía requerida, empleando para ello el mínimo volumen de agua.

Palabras-clave: optimización; operación de embalses; centrales hidroeléctricas, energía.

¹ M.Sc., Profesor de la Carrera de Ing. Civil de la Universidad Privada Boliviana, rodrihe@corani.com

1 ANTECEDENTES

El Centro de Despacho de Carga emite diariamente un predespacho de carga para cada central del sistema interconectado boliviano, el mismo indica la carga horaria requerida de cada central junto a las indisponibilidades. En base a este predespacho, la asignación de la carga horaria más eficiente a cada una de las 4 unidades de la central Corani (5 en el caso de Santa Isabel) puede ser resuelta conociendo el coeficiente de productividad de cada unidad (entiéndase “eficiente” en el sentido de ahorro de agua). Este coeficiente está expresado en términos del volumen de agua necesario para producir una unidad de potencia.

El factor de productividad de las centrales Corani (54 MW) - Santa Isabel (95 MW), definido como la potencia que se produce al turbinar un volumen unitario de agua, es un parámetro que interviene en los cálculos de energía. Este factor es utilizado también como input del modelo que simula la operación del sistema eléctrico boliviano.

El factor de productividad puede ser determinado teóricamente a partir del conocimiento de otras variables tales como el rendimiento de las unidades y las pérdidas de carga debidas a la fricción en los ductos. Algunas de estas variables no mantendrán su valor constante luego de transcurridos varios años de funcionamiento de las unidades, por lo que es necesario determinar este factor en las condiciones actuales. Para ello se deberán establecer relaciones Potencia - Caudal turbinado para diferentes rangos de producción energética en ambas centrales.

1 OBJETIVOS

En cada central, Corani & Santa Isabel se efectuaron por separado:

Aforos de caudal en las tuberías forzadas para diferentes condiciones de carga, cubriendo el rango de producción energética desde la potencia mínima hasta el valor máximo en cada unidad estableciendo relaciones P (MW) -vs- Q (m³/s).

Se establecieron las combinaciones óptimas de funcionamiento de las máquinas para despachar una determinada carga horaria.

Se elaboró un utilitario que tomando como input el predespacho horario del CDC, devuelve la asignación óptima de carga a cada unidad.

2 EJECUCIÓN DE LOS AFOROS DE CAUDAL

Las mediciones del caudal turbinado fueron efectuadas con un medidor ultrasónico en las tuberías de presión en ambas centrales. Este medidor portable mide el flujo en la tubería utilizando sensores colocados a ambos lados de la misma, donde los valores son almacenados en una PC en tiempo real. En forma simultánea, también se registran mediciones de potencia en ambas centrales.

3 RESULTADOS DE LAS RELACIONES Q -VS- P

La Figura 1 presenta a manera de ejemplo, el resumen de las mediciones en la unidad COR-3 de Central Corani, así como también la relación cuadrática ajustada a los datos Q -vs- P . Para todas las unidades en ambas centrales se han determinado relaciones similares.

Fecha	Hora	P (MW)	Q (m3/s)	P/Q
21/ 5/ 2005	01:03:00	13.73	2.64	5.19
21/ 5/ 2005	01:04:00	13.71	2.66	5.14
21/ 5/ 2005	01:05:01			
21/ 5/ 2005	01:06:01			
21/ 5/ 2005	01:07:01	12.15	2.35	5.16
21/ 5/ 2005	01:08:00	12.18	2.35	5.19
21/ 5/ 2005	01:09:00	12.15	2.33	5.22
21/ 5/ 2005	01:10:00	12.16	2.31	5.27
21/ 5/ 2005	01:11:00	11.25	2.14	5.27
21/ 5/ 2005	01:12:00	11.22	2.13	5.26
21/ 5/ 2005	01:13:00	11.26	2.11	5.32
21/ 5/ 2005	01:14:00	11.24	2.14	5.25
21/ 5/ 2005	01:15:00			
21/ 5/ 2005	01:16:01	10.22	1.95	5.25
21/ 5/ 2005	01:17:01	10.22	1.95	5.24
21/ 5/ 2005	01:18:01	10.24	1.96	5.24
21/ 5/ 2005	01:19:00	10.22	1.94	5.26
21/ 5/ 2005	01:20:00	10.23	1.92	5.32
21/ 5/ 2005	01:21:00	8.16	1.54	5.29
21/ 5/ 2005	01:22:00	8.12	1.53	5.31
21/ 5/ 2005	01:23:00	8.16	1.55	5.26
21/ 5/ 2005	01:24:00	8.13	1.55	5.25
21/ 5/ 2005	01:25:00	8.14	1.56	5.23
21/ 5/ 2005	01:26:00	6.03	1.16	5.21
21/ 5/ 2005	01:27:00	6.03	1.16	5.21
21/ 5/ 2005	01:28:01	6.05	1.15	5.25
21/ 5/ 2005	01:29:01	6.01	1.16	5.20
21/ 5/ 2005	01:30:00			
21/ 5/ 2005	01:31:00			
21/ 5/ 2005	01:32:00	4.13	0.82	5.02
21/ 5/ 2005	01:33:00	3.99	0.80	4.95
21/ 5/ 2005	01:34:00	3.99	0.80	4.96
21/ 5/ 2005	01:35:00	3.96	0.80	4.98

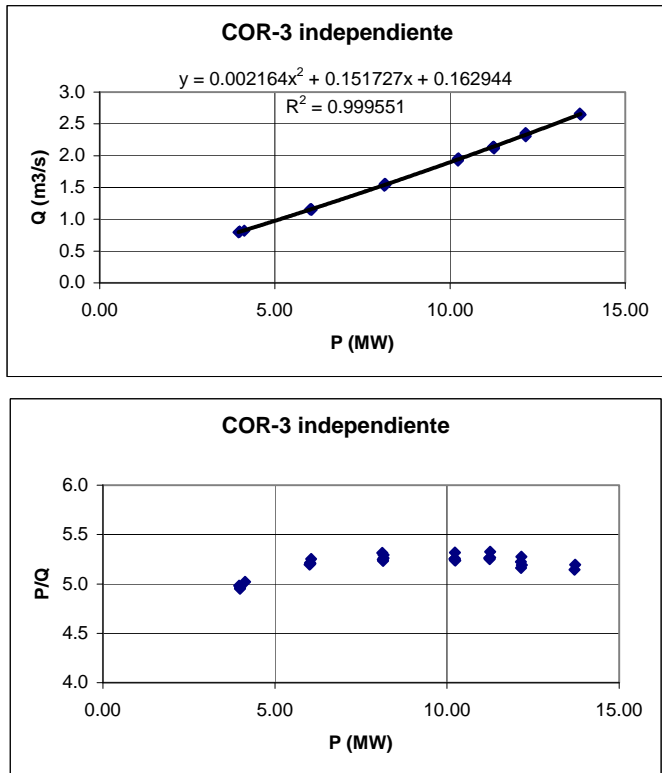


Figura 1- Relación Q –vs- P, Unidad COR-3

En la tabla que acompaña a la Figura 1 se observa que los coeficientes de producción P/Q se hallan entre 4,95 y 5,32 MW/(m3/s) para esta unidad específica. Los valores más bajos resultan para las cargas más bajas, mientras que alrededor de los 10 MW dicho coeficiente empieza a descender. Este aspecto se aprecia en todas las unidades de ambas centrales y es coincidente con la evolución típica de las curvas de eficiencia de este tipo de turbinas.

En el caso de Santa Isabel los coeficientes de producción resultan entre 6,85 (SIS-1) y 8,0 (valor puntual para una carga de 9,26 MW en SIS-5). Se observa que los coeficientes de producción alcanzan sus valores más altos para cargas situadas en la región alrededor de 12 a 15 MW.

De las relaciones obtenidas para las distintas unidades se pueden obtener conclusiones sobre qué unidades son más eficientes que otras y si ello se cumple para todas las cargas.

El orden de eficiencia resulta guardar relación con la antigüedad de éstas (COR-1 y COR-2 funcionan desde 1967, las otras dos desde 1980). Se concluye que en la Central Corani la unidad más eficiente es la 4 para todo el rango de cargas:

COR-4 Más eficiente (mayor ahorro de agua)
 COR-3
 COR-2
 COR-1 Menos eficiente

Similar comportamiento se tiene para las unidades de la central **Santa Isabel**. El orden de eficiencia de sus unidades es como sigue:

SIS-5 Más eficiente (mayor ahorro de agua)
 SIS-3
 SIS-4
 SIS-1
 SIS-2 Menos eficiente

Las unidades 2 y 1 funcionan desde 1973, la 4 desde 1983, la 3 desde 1981. Finalmente la unidad 5, la más eficiente para todo el rango de cargas, comenzó su operación comercial en Mayo 2004.

Por ejemplo, la Figura 2 presenta los resultados para las 5 unidades de Santa Isabel, el eje vertical proporciona el caudal necesario para producir la potencia indicada en el eje horizontal. Por ejemplo, para generar 18 MW la turbina SIS-2 utiliza un volumen de agua que es 7,5% mayor que la unidad SIS-5.

Similar información a la presentada en la Figura 2 se ha obtenido para la central Corani.

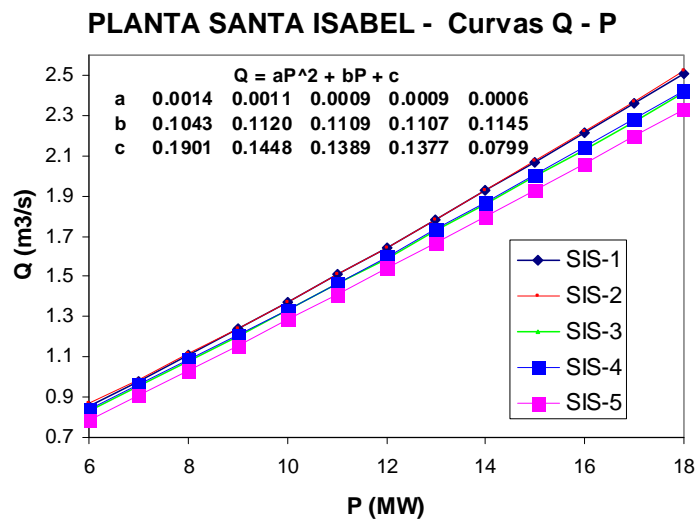


Figura 2 – Planta Santa Isabel, Curvas Q – P

4 RANGOS DE FUNCIONAMIENTO

Los rangos admisibles de operación de las unidades han sido tomados respetando valores mínimos (de manera de evitar el calentamiento de los cojinetes) y respetando la reserva rotante (10% en el bloque alto, 15% en el medio y 19% en el bajo).

Los bloques tal como definidos actualmente a lo largo de las 24 horas del día, con sus porcentajes de reserva en giro son los siguientes:

Bloques de carga y reserva en giro																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Bloque 3 (bajo) 19 %							Bloque 2 (medio) 15 %											Bloque 1 (alto) 10 %				15%	

5 PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN

Para una determinada hora, sea requerida una cantidad de energía en una central, el problema a resolver es hallar la repartición de carga en cada una de las cuatro unidades (cinco en Santa Isabel) de manera a lograr el mínimo consumo de agua, es decir el conjunto de unidades funcionando deberá ser tal que su consumo sea menor que el de cualquier otra combinación que también satisface el requerimiento. Esto puede ser expresado mediante la siguiente formulación:

$$\text{Minimizar } Q = \sum Q_i$$

Sujeto a:

- $Q_i = f^2 (P_i)$

$$i = 1,2,3,4 \text{ (Corani)}$$

$$i = 1,2,3,4,5 \text{ (Santa Isabel)}$$

- límites de potencia P_i
- indisponibilidad de unidades (mantenimiento)
- reserva en giro
-

6 COMBINACIÓN DE UNIDADES

Dependiendo del requerimiento de una carga dada, será necesario una o más unidades para su satisfacción. Ello conduce a definir previamente las posibles combinaciones en ambas centrales.

La ordenación de r objetos, sin considerar su orden ni su repetición, seleccionados de n objetos distintos se llama **combinación** y puede ser calculada con:

$$\frac{n!}{(n-r)!r!} \qquad \frac{5!}{(3)!2!}$$

$n C r =$ por ej. 5 unidades de S. Isabel funcionando de a 2: $= 10$ combinaciones.

Así por ejemplo, si en Corani se requiere 12 MW, las posibles combinaciones son como sigue:

Una funcionando: hay 4 combinaciones posibles (una de las 4 unidades satisface óptimamente los 12 MW).

Dos funcionando: en este caso hay 6 posibles combinaciones (entre ellas se identificará la mejor combinación de a dos unidades que satisface los 12 MW).

Tres funcionando: hay 4 posibles combinaciones (entre ellas identificar la mejor combinación de a tres unidades que satisface los 12 MW).

Cuatro funcionando: no es posible, ya que lo mínimo que pueden generar cuatro unidades sería 16 MW.

Las combinaciones resultantes en este ejemplo son:

<i>Cuatro udes. de Corani funcionando de a uno:</i>	<i>Cuatro udes. de Corani funcionando de a dos:</i>	<i>Cuatro udes. de Corani funcionando de a tres:</i>
COR1 = 12 MW	COR1 + COR2 = 12 MW	COR1 + COR2 + COR3 = 12 MW
COR2 = 12 MW	COR1 + COR3 = 12 MW	COR1 + COR2 + COR4 = 12 MW
COR3 = 12 MW	COR1 + COR4 = 12 MW	COR2 + COR3 + COR4 = 12 MW
COR4 = 12 MW	COR2 + COR3 = 12 MW	COR3 + COR4 + COR1 = 12 MW
	COR2 + COR4 = 12 MW	
	COR3 + COR4 = 12 MW	

En cada una de estas 14 posibilidades se requiere todavía la repartición óptima de los 12 MW entre las unidades (excepto en la primera columna), respetando la reserva en giro (que depende de la hora) y las posibles indisponibilidades. Esta asignación óptima de carga a cada unidad ha sido determinada aplicando un algoritmo de optimización.

La identificación de todas las posibles combinaciones para satisfacer cargas dentro los límites de funcionamiento de cada unidad ha sido realizada para ambas centrales antes de proceder a la optimización.

Por razones de funcionamiento práctico, la siguiente premisa fue adoptada: una vez que una máquina está funcionando con una carga determinada menor a su máximo y si se requiere aumentar la carga, ella adicionará su carga hasta llegar a su máximo. Esta situación sucederá aunque el funcionamiento de dos máquinas (por ejemplo ambas con carga menor al máximo) sea más eficiente que la única ya funcionando (adicionada eventualmente de otra).

7 RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN

La optimización ha sido efectuada para cargas con incrementos de 0,1 MW en los rangos mencionados anteriormente. A modo de ejemplo, en la Tabla 1 se muestran algunos resultados intermedios en el caso de **Central Corani**.

Estas tablas presentan las generaciones óptimas por orden de eficiencia (considerando la reserva en giro) para el caso de dos, tres y cuatro unidades. Las columnas Bajo, Medio y Alto muestran los caudales turbinados, mientras que la eficiencia se muestra en la columna P/Q en términos de MW / m³/s (calculada por razones de espacio sólo para el bloque alto).

De esta forma, se obtiene una Tabla Final para Corani y para Santa Isabel con la siguiente información para cada carga incremental de 0,1 MW, desglosado en bloques alto, medio y bajo:

Todas las combinaciones posibles de generación dentro los rangos admisibles, identificando cuanto produce cada máquina y cual el volumen de agua que utiliza cada una de las combinaciones.

La (in)disponibilidad de las máquinas

Esta Tabla se constituye en la base para determinar la asignación horaria de máquinas del predespacho diario para ambas centrales (la tabla de Santa Isabel contiene alrededor de 13500 líneas y la de Corani unas 4700).

Tabla 1 – Final Corani y Santa Isabel

Generaciones por orden de eficiencia - 2 unidades																
	8 MW				Q	8 MW				Q	8 MW				P/Q alto	
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4		CO-1	CO-2	CO-3	CO-4		CO-1	CO-2	CO-3	CO-4		
1º	1.6093		4.00	4.00	1.6093			4.00	4.00	1.6093			4.00	4.00	4.9710	
2º	1.6115		4.00	4.00	1.6115			4.00	4.00	1.6115			4.00	4.00	4.9642	
3º	1.6119		4.00	4.00	1.6119			4.00	4.00	1.6119			4.00	4.00	4.9630	
4º	1.6133	4.00		4.00	1.6133	4.00			4.00	1.6133	4.00		4.00		4.9588	
5º	1.6137	4.00			1.6137	4.00			4.00	1.6137	4.00			4.00	4.9576	
6º	1.6159	4.00	4.00		1.6159	4.00	4.00			1.6159	4.00	4.00			4.9508	
etc.																
Generaciones por orden de eficiencia - 3 unidades																
	24.30 MW				Q	24.30 MW				Q	24.30 MW				P/Q alto	
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4		CO-1	CO-2	CO-3	CO-4		CO-1	CO-2	CO-3	CO-4		
1º										4.6338			12.15	12.15	5.2440	
2º										4.6630		12.15		12.15	5.2113	
3º										4.6667	12.15			12.15	5.2071	
4º										4.6809		12.15	12.15		5.1913	
5º										4.6846	12.15	12.15			5.1872	
6º										4.7137	12.15	12.15			5.1551	
etc.																
Generaciones por orden de eficiencia - 3 unidades																
	12 MW				Q	12 MW				Q	12 MW				P/Q alto	
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4		CO-1	CO-2	CO-3	CO-4		CO-1	CO-2	CO-3	CO-4		
1º	2.4164		4.00	4.00	2.4164			4.00	4.00	2.4164			4.00	4.00	4.9660	
2º	2.4182	4.00		4.00	2.4182	4.00			4.00	2.4182	4.00		4.00	4.00	4.9624	
3º	2.4204	4.00	4.00	4.00	2.4204	4.00	4.00	4.00		2.4204	4.00	4.00	4.00		4.9579	
4º	2.4208	4.00	4.00	4.00	2.4208	4.00	4.00		4.00	2.4208	4.00	4.00		4.00	4.9571	
etc.																
Generaciones por orden de eficiencia - 3 unidades																
	36.45 MW				Q	36.45 MW				Q	36.45 MW				P/Q alto	
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4		CO-1	CO-2	CO-3	CO-4		CO-1	CO-2	CO-3	CO-4		
1º										6.9888		12.15	12.15	12.15	5.2155	
2º										6.9926	12.15		12.15	12.15	5.2127	
3º										7.0217	12.15	12.15		12.15	5.1911	
4º										7.0396	12.15	12.15	12.15		5.1778	
etc.																
Generación óptima - 4 unidades																
1-2-3-4	19% Bajo				Q	15% Medio				Q	10% Alto				P/Q alto	
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4		CO-1	CO-2	CO-3	CO-4		CO-1	CO-2	CO-3	CO-4		
16	3.2252	4.00	4.00	4.00	3.2252	4.00	4.00	4.00	4.00	3.2252	4.00	4.00	4.00	4.00	4.9609	
17	3.3828	4.00	4.00	4.00	3.3828	4.00	4.00	4.00	5.00	3.3828	4.00	4.00	4.00	5.00	5.0254	
etc.																
24	4.5916	5.36	5.42	6.03	7.19	4.5916	5.36	5.42	6.03	7.19	4.5916	5.36	5.42	6.03	7.19	5.2269
44	8.3465	10.94	10.94	10.94	10.94	8.3973	10.95	10.99	11.48	10.58	8.3970	10.84	10.87	11.78	10.51	5.2400
45						8.6014	11.34	11.37	11.48	10.81	8.6003	11.11	11.15	12.07	10.67	5.2324
46						8.7876	11.48	11.48	11.48	11.48	8.8050	11.46	11.50	12.15	10.89	5.2243
47											9.0115	11.85	11.88	12.15	11.12	5.2156
48.6											9.3476	12.15	12.15	12.15	12.15	5.1992

8 APLICACIÓN PRÁCTICA DE LOS RESULTADOS

Una vez recibido el predespacho diario del CNDC, se cargan las generaciones horarias y la indisponibilidad en la primera pantalla del sistema, el programa devuelve el desglose óptimo de la asignación de carga por máquina para ese día en ambas centrales.

Los siguientes gráficos presentan la ilustración de ello (Talas 2, 3 y 4).

Tabla 2- Optimización del despacho

OPTIMIZACION DE DESPACHO

OPTIMIZACION DEL DESPACHO

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Corani:	14.3	4.0	4.0	4.0	4.0	7.4	14.3	20.1	28.5	28.5	28.5	28.5
Sta. Isabel:	6.9	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	12.1	27.3	29.1	30.7	31.7	28.6
Mant. Cor:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mant. Sis:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Corani:	14.3	14.3	26.9	28.3	18.9	28.5	42.8	42.8	30.3	28.5	23.7	14.3
Sta. Isabel:	24.6	25.6	27.3	27.3	27.3	33.2	75.6	71.0	72.6	51.3	27.3	6.0
Mant. Cor:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mant. Sis:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FECHA

08/23/2005

BLOQUE

En esta pantalla se introduce las líneas que contienen el predespacho tal como es recibido del CNDC. Las dos primeras líneas son las cargas horarias de ambas centrales (24 valores). En las dos líneas siguientes se introduce si alguna máquina está indisponible, por ejemplo 4 si la cuarta turbina está indisponible, 2 si la segunda, 0 si ninguna, etc.

La pantalla considera que hasta dos máquinas pueden estar en mantenimiento en una misma hora, ya sea en Corani o en Santa Isabel. Si en esa hora dos unidades están indisponibles, se indica en esa hora ambas separadas por una coma, por ejemplo 4,3.

Al apretar el botón “Aceptar” el algoritmo produce el siguiente resultado:

Tabla 3 – Optimización del despacho en proceso

OPTIMIZACION DE DESPACHO

OPTIMIZACION DEL DESPACHO

Se esta procesando la información

Por favor espere ...

...Procesando... Un momento por favor

	01	02													09	10	11	12	
Corani:	14.3	4.0														28.5	28.5	28.5	28.5
Sta. Isabel:	6.9	6.0														29.1	30.7	31.7	28.6
Mant. Cor:	0															0	0	0	0
Mant. Sis:	0															0	0	0	0

	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Corani:	14.3	14.3	26.9	28.3	18.9	28.5	42.6	42.6	30.3	28.5	23.7	14.3
Sta. Isabel:	24.6	25.6	27.3	27.3	27.3	33.2	75.6	71.0	72.6	51.3	27.3	6.0
Mant. Cor:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mant. Sis:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FECHA: 08/23/2005

BLOQUE: bajo medio alto

Aceptar
Cancelar

En los casos que sea necesario el cálculo puntual de una hora, por ejemplo en ocasión de regular frecuencia si la carga variara significativamente, o cuando el CDC hace un redespacho en línea, etc., se tiene la opción de un cálculo diurecto a través de una calculadora que forma parte del procedimiento. Los resultados de la optimización son presentados en formato MS Excel y son utilizados diariamente para el despacho de carga por los operadores de ambas centrales (Tabla 4).

Tabla 4 – Resultados de la optimización del proceso

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
Empresa Eléctrica Corani S.A.																										
GERENCIA COMERCIAL																										
SISTEMA DE OPTIMIZACION DE DESPACHO DE CARGA																										
Martes, 23 de Agosto de 2005																										
PREDESPACHO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL	
COR	14.3	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	14.3	14.3	25.1	26.2	35.6	28.5	14.4	28.5	35.7	35.6	28.5	28.5	49.2	49.2	48.9	28.5	28.5	14.0	567.8	
SIS	15.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	9.9	26.1	27.3	27.3	28.2	30.4	27.3	27.3	33.6	33.9	35.4	59.9	81.2	81.2	81.2	60.0	28.8	6.0	750.5	
TOTAL	29.8	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	24.2	40.4	52.4	53.5	63.8	58.9	41.7	55.8	69.3	69.5	63.9	88.4	130.4	130.4	130.1	88.5	57.3	20.0	1318.3	
CORANI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL	
P1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	0.0	0.0	0.0	8.6	8.5	0.0	0.0	12.3	12.3	12.2	0.0	0.0	0.0	62.5	
P2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	8.3	8.6	9.1	0.0	9.1	8.6	8.6	9.1	9.1	12.3	12.3	12.2	9.1	9.1	0.0	133.4	
P3	6.7	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	6.7	6.7	8.6	9.0	9.4	9.9	6.8	9.9	9.4	9.4	9.9	9.9	12.3	12.3	12.2	9.9	9.9	6.5	195.6	
P4	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	7.6	8.7	8.8	9.1	9.4	7.6	9.4	9.1	9.1	9.4	9.4	12.3	12.3	12.2	9.4	9.4	7.5	176.3	
P Total	14.3	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	14.3	14.3	25.1	26.2	35.6	28.5	14.4	28.5	35.7	35.6	28.5	28.5	49.2	49.2	48.9	28.5	28.5	14.0	567.8	
Mant. Corani	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Santa Isabel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL	
P1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	16.2	16.2	16.2	12.3	0.0	75.0	
P2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.2	16.2	16.2	0.0	0.0	48.7	
P3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	12.3	12.3	12.9	15.1	12.3	10.7	10.8	11.2	15.3	16.2	16.2	16.2	16.0	12.9	0.0	0.0	214.7	
P4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	10.4	10.8	15.3	16.2	16.2	16.2	15.5	0.0	0.0	111.1	
P total	15.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	9.9	14.3	15.0	15.0	15.3	15.3	15.0	15.0	12.6	12.7	13.3	15.3	16.2	16.2	16.2	16.2	15.9	6.0	300.9	
Mant. Sta. Isabel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bloque Alto																										
Bloque Medio																										
Bloque Bajo																										

9 CONCLUSIONES

Se han determinado las eficiencias actuales de cada una de las unidades de ambas centrales, información útil dentro la programación del despacho óptimo de carga a cargo del Centro Nacional de Despacho de Carga.

El espacio físico requerido para los aforos de cada turbina no está disponible, dificultando o haciendo imposible las mediciones. Este aspecto debería ser previsto durante el diseño y construcción de futuras centrales en nuestro medio.

Se ha constatado que el uso del caudalímetro ultrasónico portátil puede ser muy útil en esta situación.

La aplicación de los resultados de este trabajo permite hacer un uso eficiente del recurso hídrico, cada vez más escaso en nuestro medio, satisfaciendo adecuadamente la demanda de energía de las centrales Corani & Santa Isabel.