

OPTIMIZACION DEL USO DE SALTO GRANDE. COTA REAL Y COTA VISTA

*Ing. María Cristina Álvarez Lostao
Ing. Claudia Cabrera Ottaviani*

*Instituto de Ingeniería Eléctrica – FING.
Agosto de 2009 – Montevideo, Uruguay.*

IMPORTANTE: Este trabajo se realizó en el marco del curso Simulación de Sistemas de Energía Eléctrica (SimSEE). En el marco del referido curso, fue evaluado por el enfoque metodológico, la pericia en la utilización de las herramientas adquiridas en el curso para la resolución del estudio y por la claridad de exposición de los resultados obtenidos. Se quiere dejar expresamente claro que no es relevante a los efectos del curso la veracidad de las hipótesis asumidas por los estudiantes y consecuentemente la exactitud o aplicabilidad de los resultados.

En el presente estudio se analizó como afecta la consideración de la “cota real” en el embalse de la represa de Salto Grande, que puede diferir de la “cota vista” resultante de la operación de la mitad uruguaya del embalse. Para ello se utilizó la funcionalidad Manejo de Cota Real disponible en el SimSEE v2.34. Se analizó la necesidad teórica de tener en cuenta la cota real en la operación del embalse, concluyéndose que esta influye directamente en el coeficiente energético. Se observó que al considerar con el SimSEE una cota real impuesta como fuente externa, sea modelándola como una fuente constante o como una fuente con distribución uniforme, sobre la cual no es posible influir con el despacho, lleva al sistema a desvalorizar el agua de Salto Grande y a propiciar en consecuencia un mayor uso de la misma, lo cual llevó a concluir que dicho modelado no sería el que representa adecuadamente la realidad. Asimismo se analizó la sensibilidad del sistema frente a la disponibilidad de potencia firme, observándose que al reducirse la misma, el agua de Salto Grande se valoriza más, en forma relativa al resto de las represas, resaltando así su relevancia como respaldo de potencia para el sistema. Por último se mostró la dependencia del valor del agua respecto de la época del año, observándose una mayor valorización de la misma en el verano, lo cual lleva a embalsar agua, respecto del invierno cuando se propicia un mayor uso del agua almacenada.

1 Planteo del problema.

La represa de Salto Grande es un emprendimiento binacional uruguayo-argentino. Cuenta con 14 turbinas capaces de generar 135 MW cada una, lo cual implica una potencia instalada de 1.890 MW totales.

Su embalse se encuentra limitado en su parte superior por una cota máxima de 35,5m, la cual en caso de superarse por un alto nivel de aportes, llevaría a una situación de vertimiento, con la consiguiente pérdida económica que ello implica, y se encuentra asimismo limitado en su parte inferior por una cota mínima de 30m, por debajo de la cual no es factible generar.

El caudal máximo turbinable por la represa es de 8.400 m³/s, existiendo un requerimiento de caudal turbinado mínimo de 300 m³/s a los efectos posibilitar la navegación aguas abajo del río Uruguay.

Al tratarse de un emprendimiento binacional uruguayo-argentino, a ambos países les corresponde la mitad de la potencia disponible así como la mitad de la energía generada

en Salto Grande. El embalse asimismo es compartido, por lo cual la mitad del agua embalsada, a priori, le corresponde a cada país.

Como es lógico suponer, Uruguay y Argentina realizan sus programas de generación con independencia ya que cada uno tiene sus propios requerimientos energéticos para abastecer su demanda, así como sus propios requerimientos de reserva de potencia. Ello trae aparejado como consecuencia que el volumen de agua utilizado por cada país puede diferir del utilizado por el otro.

A los efectos de cuantificar el agua que tiene cada país efectivamente en el embalse, se realiza el cálculo de la “cota vista”, la cual representaría el agua existente en el embalse correspondiente a ese país, resultado de su operación anterior. Esto equivale a una “cuenta corriente” del debe/haber de cada país, en lo que refiere a energía utilizada de la represa.

Se busca que el agua que un país le reconoce al otro mediante el método de la “cota vista” se corresponda con la energía utilizada perteneciente al otro país. Se realiza entonces el cálculo de la DEE (Diferencia de Energía Embalsada), de forma de calcular la energía en el debe/haber de cada país, según el uso del agua que haya realizado.

Cada país tiene derecho a utilizar la mitad del embalse, por lo que el apartamiento de esta situación sería:

$$\text{DEE} = | E.\text{Usada por País "A"} - \frac{1}{2} \times (E.\text{Usada por País "A"} + E.\text{Usada por País "B"}) |$$
$$\rightarrow \text{DEE} = \frac{1}{2} \times | \text{Energía Usada por País "A"} - \text{Energía Usada por País "B"} |$$

Puede fácilmente comprobarse que, de tenerse un uso igualitario del embalse por parte de ambos países, esta diferencia sería cero. Dado que se considera el módulo de la diferencia (sin signo) y que solo se tienen dos países, da lo mismo que se considere la diferencia de la energía usada por el País “A” respecto de la mitad de la energía total utilizada, o que se considere alternativamente la diferencia de la energía usada por el País “B” respecto de dicho valor, ya que la energía que usa un país “de más”, es igual a la energía que usa el otro país “de menos”, respecto al total utilizado por ambos.

Como se muestra más adelante, mediante un modelado del embalse se tiene la dependencia de la energía disponible en función de la cota, esto es, la función E (cota) con la cual podemos calcular E (cota real). Podemos entonces restar el valor de DEE hallado al valor E (cota real), y utilizando el inverso de la función E(cota), mediante iteraciones numéricas, hallar la cota vista correspondiente a cada país:

$$\text{Cota vista País "A"} = E^{-1} (E (\text{cota real}) - \text{DEE})$$

$$\text{Cota vista País "B"} = E^{-1} (E (\text{cota real}) + \text{DEE})$$

La determinación de la cota vista se muestra en forma esquemática en la Fig.1.

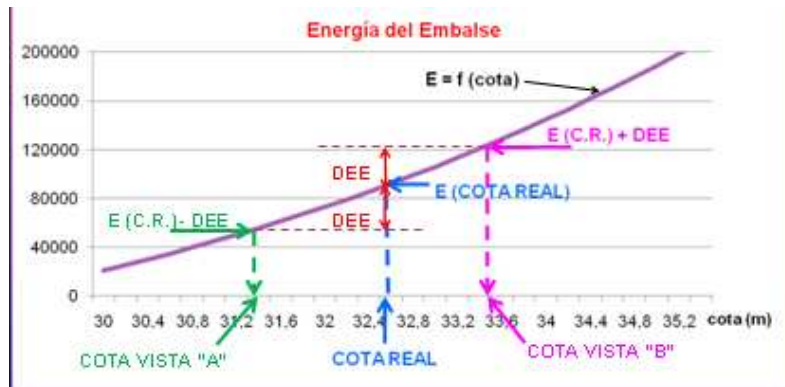


Fig.1. Se representa la función $E = f(cota)$, que permite obtener la energía disponible en función de la cota del embalse. Mediante la misma, dada una cota real, es posible obtener el punto $E(cota\ real)$. Sumando y restando a dicho valor la DEE (Diferencia de Energía Embalsada), se obtienen los puntos $E(C.R.) + DEE$ y $E(C.R.) - DEE$, siendo C.R. la cota real, a partir de los cuales es posible entonces obtener gráficamente los valores de Cota Vista para el País “A” y País “B”.

Por otro lado se define la “cota real” del lago, que representa la altura efectiva o real del embalse, sin tener en cuenta la operación de cada país. La “cota vista” no tiene por qué coincidir con la “cota real”; solo coincidiría si ambos países operaran en todo momento de la misma forma el embalse, dividiéndose por partes iguales la energía generada.

Modelamos en el SimSEE v2.34 la represa de Salto Grande como la mitad uruguaya de la misma, esto es, equipada con 7 turbinas de 135 MW cada una, y asignándole la mitad del embalse, cuya cota sería entonces la “cota vista” correspondiente a Uruguay. La representamos por tanto como un Actor “Generador Hidráulico con Embalse” con 7 Unidades iguales disponibles, descriptas mediante una Ficha perteneciente a este Actor. La variable de estado que describe la altura o cota del embalse corresponderá entonces a la “cota vista” uruguaya.

Este modelado considera por defecto que la operación de ambos países es la misma todo el tiempo. Lo cual implica que considera que la mitad del volumen total del embalse y la mitad de los aportes por lluvia y escurrimiento le corresponden a cada país. El modelo asume que cada país opera en forma óptima y supone que el otro opera en forma idéntica, operación que se ve reflejada en la “cota vista”.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la realidad difiere de esta situación idealizada, y que el agua que se turbinará se encuentra efectivamente embalsada a una altura correspondiente a la “cota real”, esto es, tendrá una Energía Potencial diferente a la que tiene el agua considerada a una altura correspondiente a la “cota vista”.

La ecuación que nos da la Energía del lago de Salto Grande, en función de la cota real (Cr), es en forma aproximada:

$$E(Cr) = -20,6299118836178 * Cr^4 + 2756,13048078166 * Cr^3 - 135280,855738525 * Cr^2 + 2925629,03239729 * Cr - 23700437,9090095$$

Esta ecuación nos muestra claramente que la Energía disponible depende directamente de la cota real a la que el agua se encuentra embalsada.

La **Energía Potencial** del agua embalsada, así como la **Potencia** que a partir de ésta se puede generar, se tienen de las siguientes fórmulas:

$$E \text{ (J)} = h \times \rho \times g \times \eta \times Vt$$
$$P \text{ (W)} = h \times \rho \times g \times \eta \times Qt$$

Siendo:

h = diferencia entre la cota real del embalse y la cota de descarga (aprox. 5m)

ρ = densidad del agua (1000 kg/m³)

g = aceleración de la gravedad (9,8 m/s²)

η = rendimiento complejo del grupo turbina-generator eléctrico

Vt = Volumen de agua turbinado (m³)

Qt = Caudal turbinado (m³/s)

En la Fig.2 se muestran en forma esquemática algunos de los elementos principales que componen una central hidroeléctrica con embalse, así como algunos de los parámetros arriba mencionados.

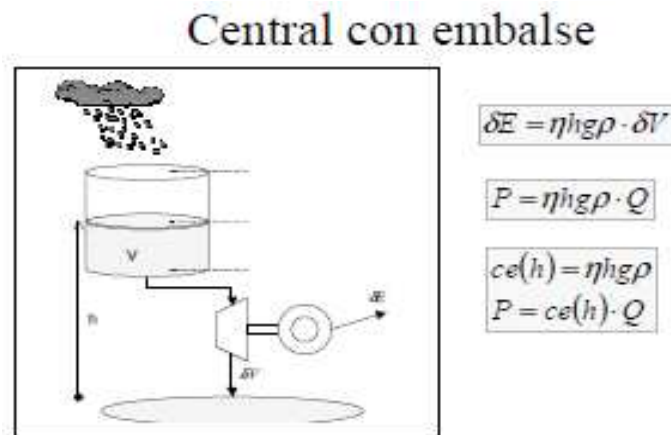


Fig.2. Se muestra un esquema que representa los elementos básicos que componen una central hidroeléctrica con embalse: el lago (se representa el volumen embalsado V, así como la altura h del nivel del mismo), la turbina que se encuentra acoplada a un generador eléctrico, la cual turbinado un volumen de agua δV , lo cual permite obtener un δE en bornes del generador. Se muestran asimismo las ecuaciones que relacionan dicho δE con el δV turbinado, en función del rendimiento del grupo turbina-generator (η), la altura del embalse (h), la constante gravitatoria (g) y la densidad del agua (ρ).

Resulta entonces evidente, que a mayor altura de embalse, para igual volumen turbinado (Vt) o caudal turbinado (Qt), la energía y potencia disponibles serán mayores.

Es por ello que se torna necesario, al momento de realizar los cálculos de energía efectivamente generada, considerar la “cota real” del lago. Esta puede conocerse con precisión al inicio del despacho, pero si solo se conoce el programa de despacho de un país y no se conoce el del otro, la evolución de la misma debe estimarse.

El programa SimSEE permite tener en cuenta en el modelado la cota real, mediante una funcionalidad denominada “Manejo de Cota Real”. La misma se considera como una Fuente Aleatoria externa que influirá sobre el Actor (en el caso que nos ocupa: “Generador Hidráulico con Embalse”). Puede entonces elegirse modelarla como una de

las posibles Fuentes Aleatorias disponibles en el SimSEE: Constante, Distribución Uniforme, Distribución Gaussiana, etc.

Respecto al método de la “cota vista” aquí tratado, se observa que habría que considerar también que el país que utiliza el agua, “degrada” energéticamente el agua remanente en el embalse, pues ésta se turbinará ahora desde menor altura, y la energía que se obtiene de la misma será menor. Pero al mismo tiempo cede capacidad de embalse al otro país, lo cual puede permitirle a éste almacenar agua más allá de su capacidad de embalse, evitándole situaciones de vertimiento, con la consiguiente pérdida económica. Ninguno de estos dos extremos es tenido en cuenta por el método de la “cota vista”.

2 Enfoque metodológico.

En el presente estudio se busca analizar como afecta la consideración de la “cota real” en el embalse de Salto Grande, que puede diferir de la “cota vista” resultante de la operación de la mitad uruguaya del embalse.

Se eligió como caso de estudio el despacho para la semana 27 de 2009 (semana comprendida entre los días 4 a 10 de julio), considerándose todo el Parque Térmico disponible, el cual comprende: la Central Batlle (5ª, 6ª, Sala B), las Centrales Térmicas de Respaldo CTR 1 y 2, las 6 Unidades de Punta del Tigre (PTI), Botnia, la Turbina de Maldonado (TGAA) y la Generación Distribuida.

Para modelar el Comercio Internacional se consideró un posible intercambio por la Conversora de Rivera, de hasta 70MW en las madrugadas (hasta las 7 horas) y domingos hasta las 17 horas, una posible compra a Brasil a través de la Conversora de Garabí, por un mínimo de 160MW y un máximo de 420MW y una posible compra a Argentina en modalidad contingente gas-oil por un máximo de 200MW.

En la Tabla I se resumen las hipótesis realizadas respecto del Parque Térmico así como de la Importación.

Maquina térmica	Potencia (MW)	FD	CV (USD/MWh)
Batlle 5ª	75	0,75	97
Batlle 6ª	120	0,80	99,1
Batlle Sala B	48	0,50	127,7
CTR 1y2	100	0,75	145,6
PTI 1-6	48	0,78	119,5
TGAA	15	0,50	201,1
Botnia	23	0,90	2
Gen. Distribuida	46,8	1,00	1
Importación	Pot. Min-Max (MW)		
Brasil Conv.Garabí	160-420	1,00	205
Brasil Conv.Rivera	70-70	0,50	205
Argentina Gasoil	0-200	1,00	300

Tabla I. Se detalla la potencia nominal de cada unidad mencionada del parque térmico, así como el factor de disponibilidad (FD) considerado en cada caso, y el costo variable (CV) de cada unidad. Para el caso de la Generación Distribuida se consideró una máquina térmica equivalente a 30 MW de generación a partir de biomasa y 20 MW eólicos instalados, aplicando a éstos últimos un factor de capacidad de 0,3. El costo variable de la G.Distribuida así como de Botnia se consideró ínfimo a los efectos que estos se despachen en la base, considerando que provienen de contratos que implican libertad de autodespacho. Para el caso de la Importación se detalla un rango de potencia mínima y máxima involucradas en dicho intercambio.

A los efectos de realizar el análisis del despacho de la semana, dadas las hipótesis consideradas, se realizan tres corridas concatenadas:

- ❖ una primera aproximación modelando una sola represa con embalse (Bonete), con un horizonte de optimización de 3 años, a los efectos de valorizar el agua de Bonete (cuyo embalse representa una reserva energética de aprox. 3 meses).
- ❖ una segunda aproximación modelando 2 represas con embalse (Bonete y Palmar), con un horizonte de optimización de 3 meses, que se concatena con los resultados de la primera corrida, esto es, se parte del Estado obtenido en la primer corrida. Aquí se busca valorizar el agua de Palmar (cuyo embalse representa una reserva energética de aprox. 1 semana).
- ❖ una tercer corrida donde se modelan 3 represas con embalse (Bonete, Palmar y Salto Grande), con horizonte de optimización de un mes, que se concatena con los resultados de la segunda corrida. En esta última corrida se busca valorizar el agua de Salto Grande.

Una vez obtenida la política de operación a partir de las optimizaciones realizadas, solamente se realiza una simulación en la última corrida, de corto plazo a los efectos de concretar un programa de despacho para la semana. Para dicha semana se asume que se conocen las máquinas disponibles, por lo que se realiza una simulación determinística, utilizando un factor de disponibilidad global igual a 1. El objetivo es concretar el programa de despacho más probable para la semana.

En la Tabla II se detallan los supuestos realizados para los Generadores Hidráulicos.

Represa	Cota Inic. (m)	Aportes (m ³ /s)	Corrida 1 Embalse	Corrida 2 Embalses	Corrida 3 Embalses
Bonete	74,27	75 / 50	Con Embalse	Con Embalse	Con Embalse
Baygorria	53,63	-	De Pasada	De Pasada	De Pasada
Palmar	38,1	0 / 0	De Pasada	Con Embalse	Con Embalse
Salto Grande	32,74 *	775 / 630	De Pasada	De Pasada	Con Embalse

Tabla II. Se detalla la cota inicial correspondiente a cada embalse (o bien a la cota de toma en caso de tratarse de centrales “De Pasada”), así como los Aportes indicados en forma determinística para la primer y segunda semana de la simulación, que corresponden a un promedio semanal estimado de los caudales asociados con aportes. Para el caso de Salto Grande los aportes considerados corresponden a la mitad de los aportes totales esperados. Asimismo se indica para cada central, como fuera modelada en el SimSEE en cada una de las tres corridas realizadas, esto es como “Generador Hidráulico Con Embalse” o “Generador Hidráulico De Pasada”. * El valor indicado para Salto Grande corresponde a cota vista, salvo los casos en que se especifica otro valor para la misma.

Los Aportes esperados se modelan como una Fuente Aleatoria “Sintetizador CEGH” y se especifican los valores indicados para la primer y segunda semana, para las centrales indicadas.

Se observa que los aportes considerados para Salto Grande corresponden a la mitad (uruguay) de los aportes totales, dado que se modeló en el SimSEE la mitad uruguay de la Central.

Las tres centrales sobre el Río Negro se representan como centrales encadenadas, donde se especifica la Central Aguas Arriba (si la hay) y la Central de Descarga (si la hay) que es la central aguas abajo.

En el SimSEE las centrales con Embalse se modelan según se muestra en las Fig.3 y 4.

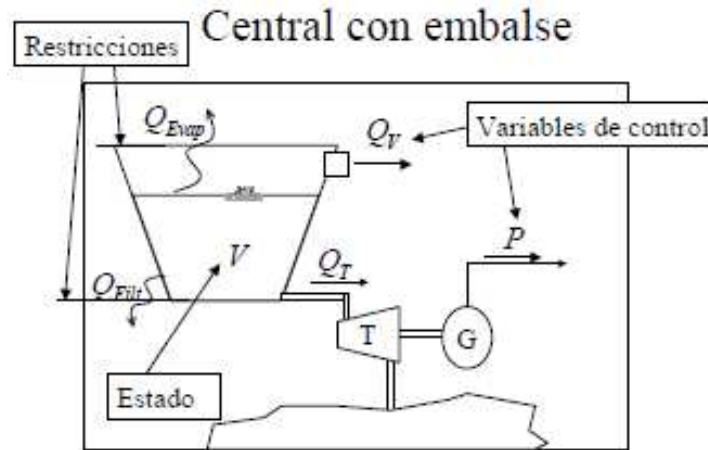


Fig.3. Se representa esquemáticamente una central hidroeléctrica con embalse, con las principales variables involucradas en su modelado. Se muestran las variables de control: Potencia obtenida (P) y Caudal Vertido (Q_V), la variable de estado: Volumen del embalse (V), las restricciones impuestas por las cotas máxima y mínima del embalse, así como otras variables intermedias: Caudal Turbinado (Q_T) o parámetros involucrados: Caudal Evaporado (Q_{Evap}) y Caudal Filtrado (Q_{Filt}).

		variables de control					
restricciones		x1	x2	...	xnv	1	
R1		a11	a12	...	a1nv	b1	≥ 0
R2		a21	a22	...	a2nv	b2	$= 0$
...	
RM		am1	am2	...	amnv	bm	≥ 0
-fc		-c1	-c2	...	-cnv		

- función de costo (busco maximizar)

Fig.4. Se muestra la representación matricial del problema de optimización a resolver utilizada en el SimSEE. En las filas de la matriz se representan las distintas restricciones que rigen en el sistema (R1 .. RM), que pueden ser de igualdad o desigualdad, que incluyen las “restricciones de nodo”, así como las restricciones propias de cada uno de los actores involucrados. La última fila representa el opuesto de la función de costo del sistema, que el SimSEE busca maximizar. En las columnas se representan las variables de control ($x_1 .. x_{nv}$), así como el término independiente de las restricciones. Esta representación se adecúa a los requisitos del método Simplex utilizado para la optimización.

Entonces, cada vez que se modela una Central Hidráulica como “Con Embalse”, en lugar de “De Pasada”, se está agregando una variable de estado (volumen embalsado, o en forma equivalente, cota del embalse), además de restricciones adicionales (para imponer los límites superior e inferior de volumen de agua embalsada), por lo que se incrementan las dimensiones de la matriz, así como la complejidad computacional del problema a resolver. Esto implica que se requiere mayor capacidad de cálculo a los efectos de llevar a cabo la optimización. Es por ello que se realizan tres corridas, con sucesivas aproximaciones, y no una sola corrida con tres centrales con embalse, para el periodo total de optimización.

La Demanda considerada en el presente estudio se encuentra basada en datos de la Demanda real del año 2007, proyectada al año 2009.

Se consideraron los Costos de Falla actualmente vigentes, que se detallan a continuación:

- 1er escalón: 250 USD/MWh
- 2do escalón: 400 USD/MWh
- 3er escalón: 1.200 USD/MWh
- 4º escalón: 2.000 USD/MWh

El primer escalón corresponde al primer 5% de demanda insatisfecha, el segundo al siguiente 7,5%, el tercero al siguiente 7,5% y el último al restante 80%.

Se seleccionó un Paso de Tiempo semanal para la corrida de 1 Embalse, acorde al horizonte de optimización de 3 años elegido, modelando la Demanda con 4 postes monótonos (P1 .. P4) de duración 5-30-91-42 horas respectivamente.

Para las corridas de 2 y 3 Embalses (con horizontes de optimización de 3 meses y 1 mes respectivamente) se eligió un Paso de Tiempo diario, con 4 postes monótonos de duración 1-4-13-6 horas respectivamente.

En todos los casos se eligió un poste (P1) de corta duración, a los efectos de representar correctamente el pico de potencia. Con la elección de estos postes se busca representar adecuadamente la curva de carga. Deben ser monótonos a los efectos de asignar al primer poste la mayor potencia (pico), y así sucesivamente.

Se realizó una primer serie de corridas con 10 casos a analizar, con las hipótesis descriptas, y posteriormente se estudiaron los mismos 10 casos eliminando la importación de Brasil, que de despacha siempre por tener un mínimo impuesto, considerando entonces solo la disponibilidad de importación origen Gas Oil desde Argentina. Asimismo se consideró en ambas series de corridas un caso control, denominado caso 0, donde no se utilizó la funcionalidad de "Manejo de Cota Real", a los efectos de cotejar los resultados obtenidos con y sin manejo de cota real.

Posteriormente y solamente para el caso 9 (considerado como peor caso, donde ambas cotas, real y vista, se encuentran próximas al límite inferior), se realiza un análisis de sensibilidad donde se analizan los cambios ante la disminución de la potencia disponible y ante un cambio en la fecha de la corrida, esto es, en vez de realizar las corridas para julio de 2009, se realizaron para enero de 2009.

A continuación se detallan los 10 casos base considerados para las corridas, los cuales luego se van a ir agrupando en distintos puntos desde I) hasta VII) para su análisis:

- 0) Cota real igual a cota vista en todo momento (caso base)
- 1) Cota real igual a cota vista (32,74m)
- 2) Cota real 34,5m
- 3) Cota real 32m
- 4) Cota real con distribución Uniforme entre 32 y 34,5m
- 5) Cota real 30m y cota vista 35m
- 6) Cota real 35m y cota vista 30,5m
- 7) Cota real 30m

- 8) Cota real 35m
- 9) Cota real y cota vista 30,5m
- 10) Cota real y cota vista 35m

En todos los casos excepto el 0 y el 4, se consideró una Fuente Constante para representar la Cota Real, con el valor arriba indicado. El caso 0 corresponde al caso base, para el cual no se utilizó la funcionalidad de manejo de Cota Real (por lo que el SimSEE la asume igual a la cota vista en todo momento) y para el caso 4 se consideró una Fuente con Distribución Uniforme para representar la Cota Real, con valor inicial igual a la cota real correspondiente a la semana 27 (34,4m) y que en cada paso (elegido diario) aumenta linealmente la dispersión, hasta alcanzar el intervalo 32-34,5m el último día, a los efectos de modelar así la incertidumbre creciente en la cota real, la cual depende, como ya se dijera, de la operación que realiza el otro país del embalse, datos que a priori pueden no conocerse.

Los casos arriba enumerados se eligieron con el siguiente propósito:

- El caso 0) se eligió a los efectos de constituir un “caso control” donde no se utiliza la funcionalidad de Manejo de Cota Real que proporciona el SimSEE.
- Los casos 1) a 4) fueron los propuestos para el estudio, donde a igual cota vista inicial, se buscó analizar la influencia de una cota real constante a mayor o menor altura de embalse, o bien una cota real que pudiera tener una distribución uniforme acotada entre ciertos valores, que reflejara la incertidumbre existente respecto de la operación de la otra mitad del lago.
- Los casos 5) y 6) se eligieron a los efectos de analizar casos extremos, esto es, con el embalse efectivamente casi vacío pero la cota vista alta, y *vice versa*, con el embalse lleno casi a tope pero la cota vista muy baja.
- En los casos 7) y 8) se buscó poder comparar los extremos de cota real utilizando la cota vista inicial correspondiente a los casos 0) a 4), esto es, serían casos extremos de los casos 2) y 3) presentados.
- Los casos 9) y 10) se eligieron de forma de tener ambas cotas ubicadas en el mismo extremo, esto es, ambas próximas al mínimo o bien ambas en el máximo (próximas al vertimiento).

A continuación se describe el análisis realizado, para el cual se fue seleccionando de entre los 10 casos base mencionados, los que se consideraron relevantes en cada caso agrupándolos de acuerdo a distintas características.

I) En un primer momento y de acuerdo a lo pedido en la monografía, se consideraron 4 casos, con distintas cotas reales y la misma cota vista. Se considera la importación ya descrita.

I.a) Cota real coincidente con la vista: para ello se realizó la corrida de 3 embalses utilizando solo la cota vista (32,74m para la semana considerada en el estudio), sin utilizar la funcionalidad de Manejo de Cota Real, con lo cual la cota real va a coincidir con la vista durante la corrida. (Corresponde al caso 0, caso “control”).

I.b) Cota real constante de 34,5m. La cota vista inicial es de 32,74m (caso 2)

I.c) Cota real constante de 32,0m. La cota vista inicial es de 32,74m. (caso 3)

I.d) La cota real tiene distribución uniforme entre 32 y 34,5m. La cota vista inicial es de 32.74 m. (caso 4)

II) Debido al gran respaldo con el que se cuentan en los casos I, vale decir la cantidad de importación disponible para la semana 27, se consideran los mismos diez casos que para la parte I), pero eliminando algunas importaciones, con lo cual no se consideran las importaciones desde Garabí y Rivera, las cuales, por tener un mínimo impuesto, se despachan siempre. Se toma en cuenta la importación de origen Gas Oil desde Argentina (300 USD/MWh). Se analizaron los casos 0, 2, 3 y 4 como en el punto I.

III) Al observar que el sistema sigue generando con Salto Grande, sin despachar falla, a pesar de contar con poca importación y cara, se consideran los siguientes cinco casos, y se realiza el análisis de sensibilidad a la disponibilidad de potencia y a la época del año:

III.a) Sistema con la importación considerada en los casos I) con cota real constante de 30,5m y cota vista inicial de 30,5m.

III.b) Sistema con menor importación (solo con la importación de origen Gas Oil desde Argentina, como los casos considerados en II) con cota real constante de 30,5m y cota vista inicial de 30,5m.

III.c) Análogo al caso III.a) pero se decide correrlo en el mes de enero 2009 o sea se optimiza y simula para la semana que va del 03 al 09 de enero de 2009. En este caso se volvieron a realizar las corridas de uno y dos embalses, a los efectos de que la optimización corresponda a la fecha indicada.

III.d) Se considera el sistema similar al caso III.b) pero sin la importación de Gas Oil desde Argentina y considerando que las dos CTR se encuentran fuera de servicio.

III.e) Análogo al caso III.d) pero se considera las CTR en servicio.

IV) Se consideraron casos donde se analiza qué sucede cuando la cota real y la cota vista de Salto Grande se encuentran en extremos opuestos. Se realiza el análisis de sensibilidad a la disponibilidad de potencia de importación.

IV.a) Sistema con importación de acuerdo a I), considerando la cota real constante en 30 m y la cota vista inicial en 35 m.

IV.b) Sistema con importación de acuerdo a I), considerando la cota real constante en 35 m y la cota vista inicial en 30,5 m.

IV.c) Sistema con menor importación de acuerdo a II), considerando la cota real en 30 m y la cota vista inicial en 35 m.

IV.d) Sistema con menor importación de acuerdo a II), considerando la cota real en 35 m y la cota vista inicial en 30,5 m.

V) Se comparan casos donde la cota real es constante de valor 35 metros y se va modificando la cota vista inicial.

V.a) La cota real es 35m y la cota vista inicial es de 30.5 m, considerando el sistema con toda la importación de acuerdo a I)

V.b) La cota real es 35m y la cota vista inicial es de 32.74 m, considerando el sistema con toda la importación de acuerdo a I)

V.c) La cota real es 35m y la cota vista inicial es de 35 m, considerando el sistema con toda la importación de acuerdo a I)

V.d) La cota real es 35m y la cota vista inicial es de 30.5 m, considerando el sistema con solo la importación origen Gas Oil desde Argentina.

V.e) La cota real es 35m y la cota vista inicial es de 32.74 m, considerando el sistema con solo la importación origen Gas Oil desde Argentina.

V.f) La cota real es 35m y la cota vista inicial es de 35 m, considerando el sistema con solo la importación origen Gas Oil desde Argentina.

VI) Se comparan casos donde la cota real es constante de valor 30 o 30,5 metros y se va modificando la cota vista inicial.

VI.a) La cota real es 30.5m y la cota vista inicial es de 30.5 m, considerando el sistema con toda la importación de acuerdo a I)

VI.b) La cota real es 30m y la cota vista inicial es de 32.74 m, considerando el sistema con toda la importación de acuerdo a I)

VI.c) La cota real es 30m y la cota vista inicial es de 35 m, considerando el sistema con toda la importación de acuerdo a I)

VI.d) La cota real es 30.5m y la cota vista inicial es de 30.5 m, considerando el sistema con solo la importación origen Gas Oil desde Argentina.

VI.e) La cota real es 30m y la cota vista inicial es de 32.74 m, considerando el sistema con solo la importación origen Gas Oil desde Argentina.

VI.f) La cota real es 30m y la cota vista inicial es de 35 m, considerando el sistema con solo la importación origen Gas Oil desde Argentina.

VII) Se comparan los casos en los cuales la cota vista inicial es de 32.74 m y la cota real es constante y de valor 30, 32, 32.74, 34.5 y 35 metros (correspondiendo a los casos 7, 3, 1, 2 y 8).

3 Resultados del estudio.

Se presentan a continuación los resultados de los despachos obtenidos considerando las diferentes hipótesis detalladas en el punto anterior. Se analiza una posible variación en la operación del embalse de Salto Grande, así como en el despacho de las máquinas en su totalidad, durante la semana considerada (sem.27). Asimismo se analizan las variaciones que se producen en los costos variables hidráulicos asociados al valor del

agua de las 4 Centrales Hidroeléctricas (expresados en USD/MWh). En la misma gráfica que muestra los valores del agua se incluye el costo marginal del sistema, calculado por el SimSEE, y el costo variable térmico que corresponde a la máquina térmica que se encuentra marginando en cada paso.

Para alguno de los casos analizados se calculó el coeficiente energético en cada paso (diario) para Salto Grande, como la Energía suministrada dividido el Caudal Turbinado en ese paso. Dicho coeficiente variará en la medida que va cambiando el salto útil. También varía al variar el rendimiento de la turbina que no es constante para todo caudal.

Para los casos considerados en I).

Caso I.a) Se observa que se utiliza muy poco Salto Grande, solamente a los efectos de satisfacer el caudal turbinado mínimo impuesto (300 m³/s) economizando aportes e incrementando así su cota real que terminada la semana tiene un valor de 33.6 m.

Casos I.b, I.c y I.d): en los tres casos Salto Grande es despachada de manera importante, utilizándose la totalidad de los aportes así como parte del agua almacenada en el lago, llegando la cota vista final aproximadamente a 32m.

En la Tabla III se muestra un breve resumen de los resultados obtenidos en cada caso.

caso	cota real (m)	cota vista (m)	cota vista 1er paso(m)	cota vista final (m)	Qturbinado promedio SG (m ³ /s)	Energía generada SG (MWh)	c.var. SG (USD/MWh)	c.var. Bonete (USD/MWh)	c.var. Palmar (USD/MWh)	Costo marginal (USD/MWh)
I.a)	sigue a la vista	32.74	32.9	33.6	300	12,353	153.0	153.4	150.8	146.0
I.b)	34.5	32.74	32.6	31.9	1,028	44,817	135.7	150.3	150.2	136.7
I.c)	32	32.74	32.5	32.0	1,065	40,592	137.5	151.7	151.7	137.9
I.d)	34,4 - 32.8	32.74	32.5	31.7	1,042	48,112	135.8	149.4	149.5	138.0

Tabla III. Se muestra para los cuatro casos considerados en I), cuya cota vista inicial es siempre 32,74m, la variación en la misma después del primer paso de la simulación y su valor al final de la semana simulada (sem.27). Asimismo se muestra el caudal turbinado promedio (en la semana simulada) en Salto Grande, la energía total generada en Salto Grande en dicha semana y los costos variables promedio de Salto Grande, Bonete y Palmar, así como el costo marginal promedio del sistema. Nota: En todos los casos, el caudal aportado promedio semanal, es de 713 m³/s.

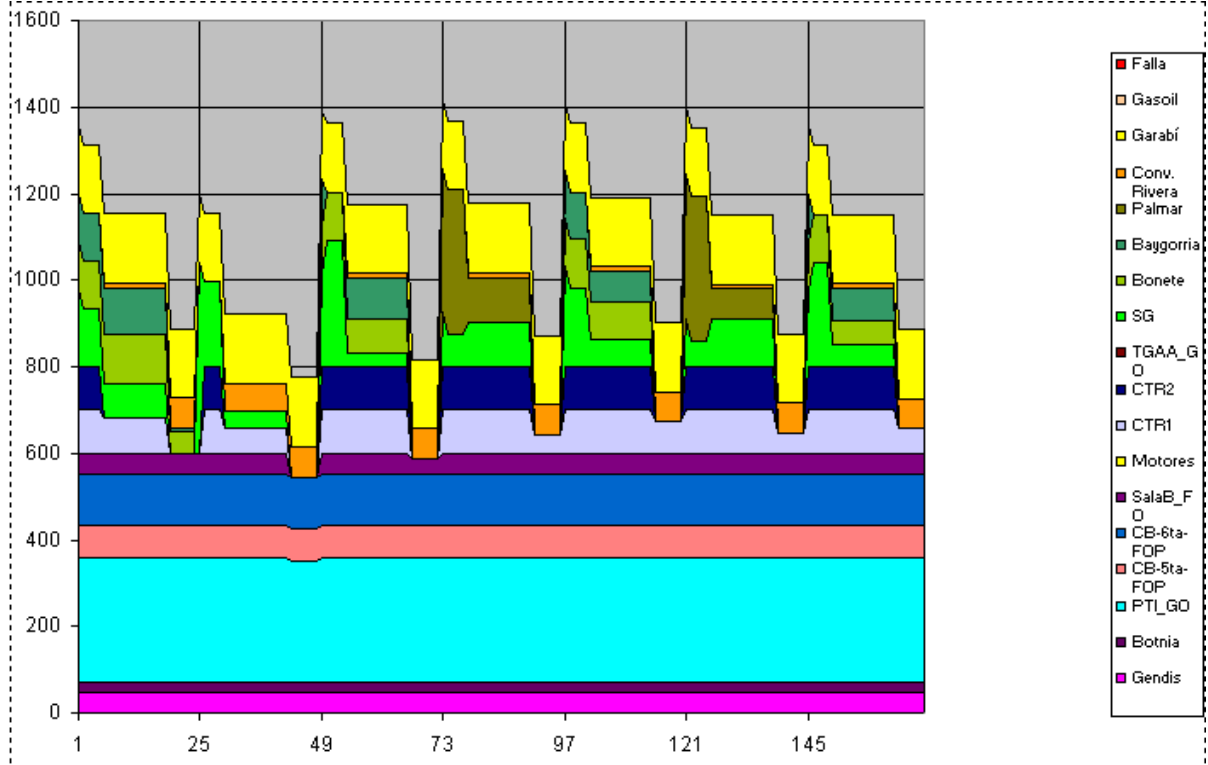
Se observa que cuando la cota real es más alta la energía generada aumenta, para un caudal turbinado muy similar y el costo variable de Salto Grande disminuye (casos Ib y Ic). El primer efecto se debe al mayor coeficiente energético, mientras que el segundo refleja una mayor abundancia del recurso y un mayor riesgo de vertimiento.

Se observa además que el embalse tiene una forma aproximadamente trapezoidal, lo cual lleva a que variaciones de altura a cotas altas, impliquen más volumen desplazado (y por tanto más energía generada) que las mismas variaciones de altura a cotas bajas. Este efecto es solo geométrico e independiente del coeficiente energético.

A continuación se muestra gráficamente en la Fig.5, para cada caso analizado, con qué recurso se satisface la demanda, esto es, se muestra el despacho correspondiente a la primera semana de la simulación.

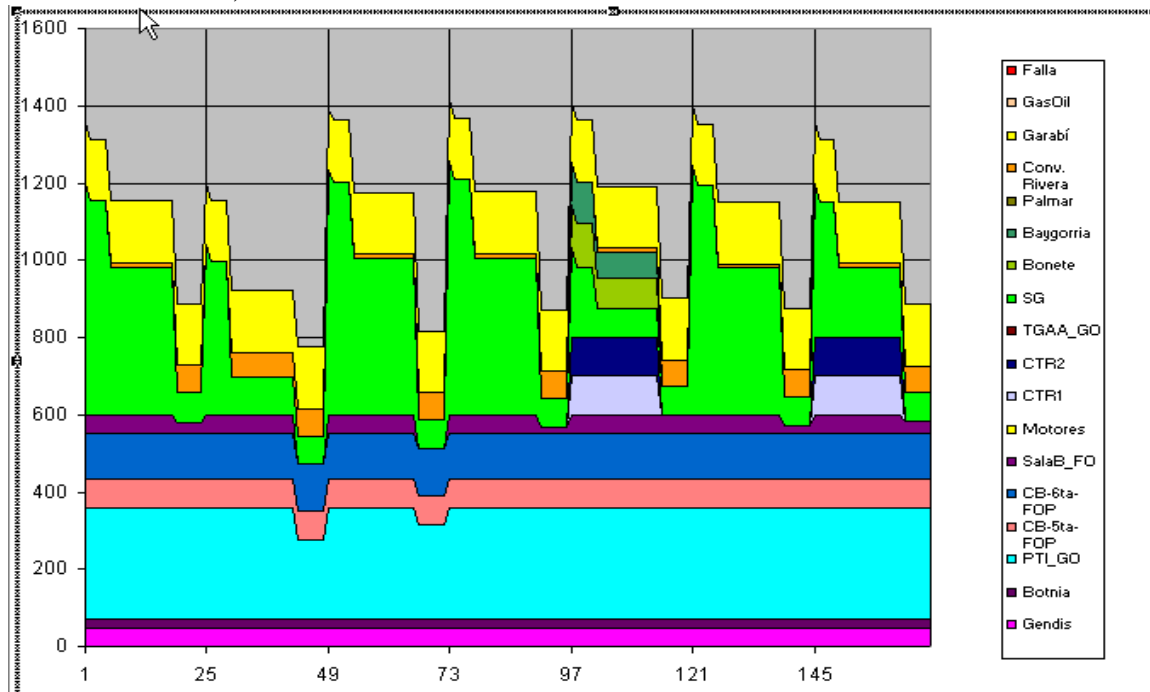
Resultados para el caso I.a:

Cota real coincidente con la vista; cota vista inicial 32.74 m



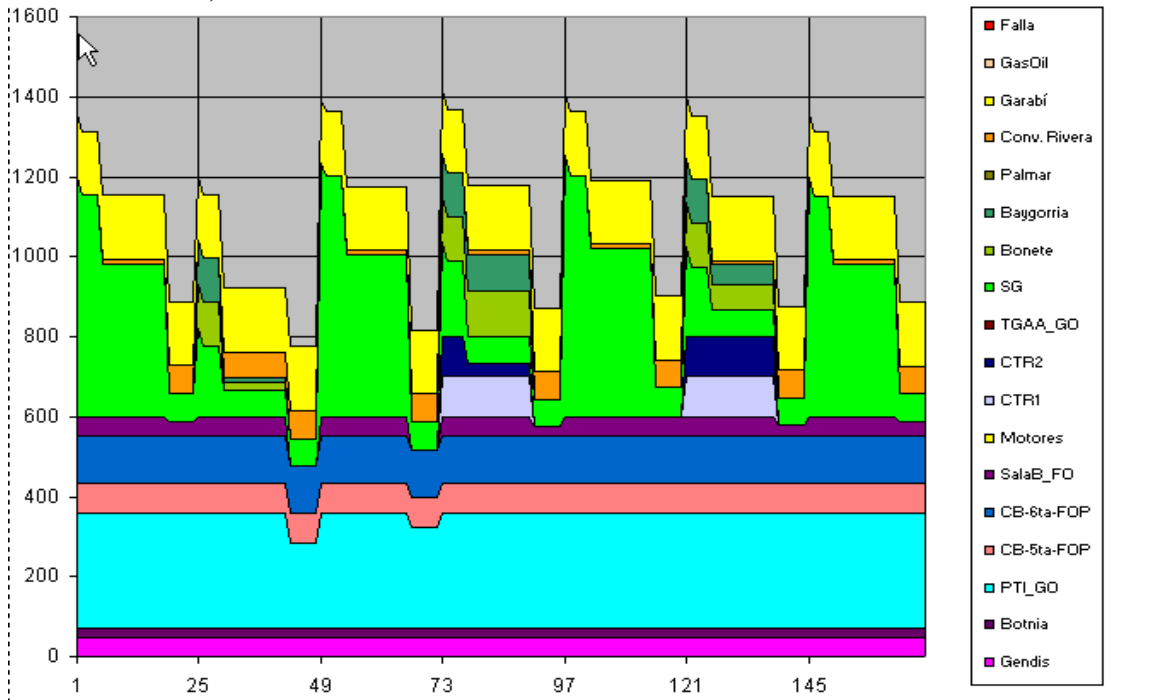
Resultados para el caso I.b:

Cota real: 34.5 m; cota vista inicial: 32.74 m



Resultados para el caso I.c:

Cota real: 32 m; Cota vista inicial: 32.74 m



Resultados para el caso I.d:

Cota real: con distribución uniforme entre 32 y 34.5 m; Cota vista inicial: 32.74 m

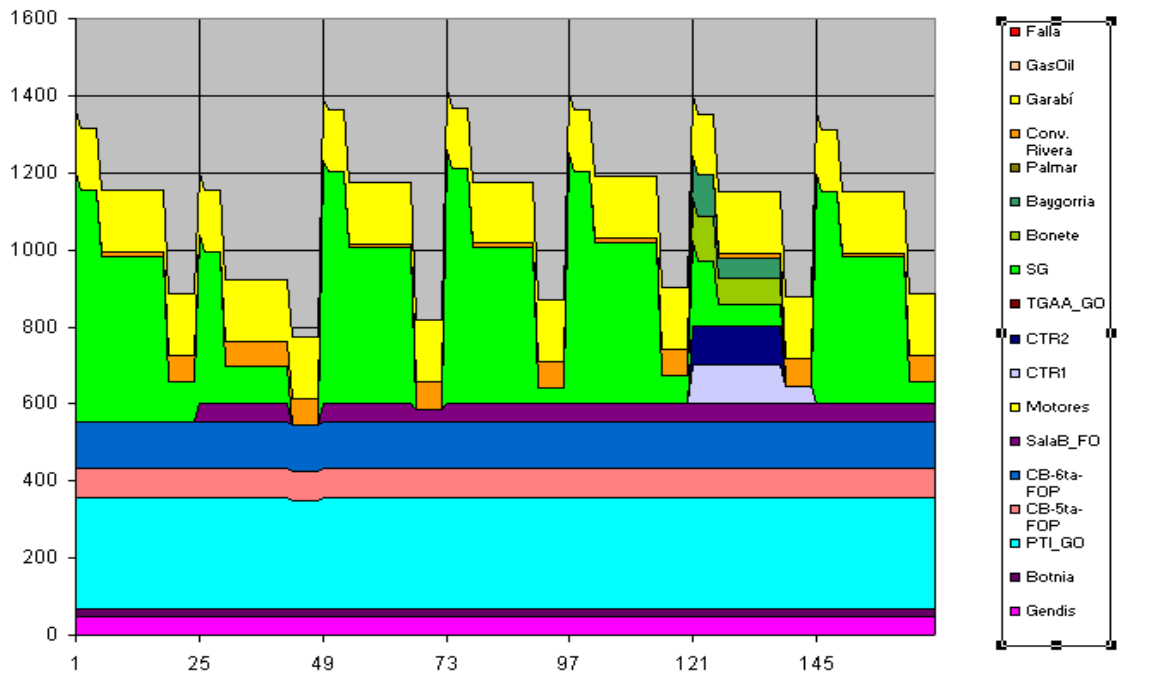


Figura 5. Se muestra el despacho obtenido para la primer semana para los cuatro casos considerados en I), cuya cota vista inicial es siempre 32,74m, mientras que la cota real acompaña a la vista en el primer caso, es constante en los dos casos siguientes, de valor 34,5 y 32m respectivamente y tiene distribución uniforme entre 32 y 34,5m en el último. En el eje de las abscisas se representan las horas de la semana, y en las ordenadas el acumulado de la potencia generada (MW) por cada recurso del sistema a los efectos

de satisfacer la demanda. Esta se representó por medio de 4 postes horarios monótonos, de duración 1, 4, 13 y 6 horas respectivamente. A la derecha se muestra el código de colores correspondiente a cada recurso disponible del sistema. Se observa que en todos los casos se despacha el mínimo impuesto de importación por Garabí (160 MW) y por Rivera (70 MW) para horas de valle y domingo. Se constata un uso significativo de Salto Grande en todos los casos, a excepción del primero donde la cota real no se encuentra impuesta, frente al uso de las CTRs o el Río Negro en su lugar.

Se muestra en la Fig. 6 la probabilidad de excedencia del valor del agua de Salto Grande, así como el promedio obtenido para el mismo, al realizar 100 simulaciones para el caso I.d), llevadas a cabo a los efectos de reflejar adecuadamente el comportamiento para el caso de la distribución uniforme modelada, dado que en este caso una sola simulación no sería representativa. Se observa que al igual que en los casos anteriores, el valor del agua permanece bajo, y tiene muy poca dispersión respecto del valor promedio, puesto que la cota real, por más que tenga una distribución uniforme y sea aleatoria dentro del rango indicado, viene impuesta de afuera, no pudiendo incidirse sobre ésta con la decisión de despacho que se tome, por lo cual pierde valor el ahorro del agua. El valor es muy similar al obtenido en los casos I.b y I.c, en los cuales la cota real también viene impuesta y se considera constante.

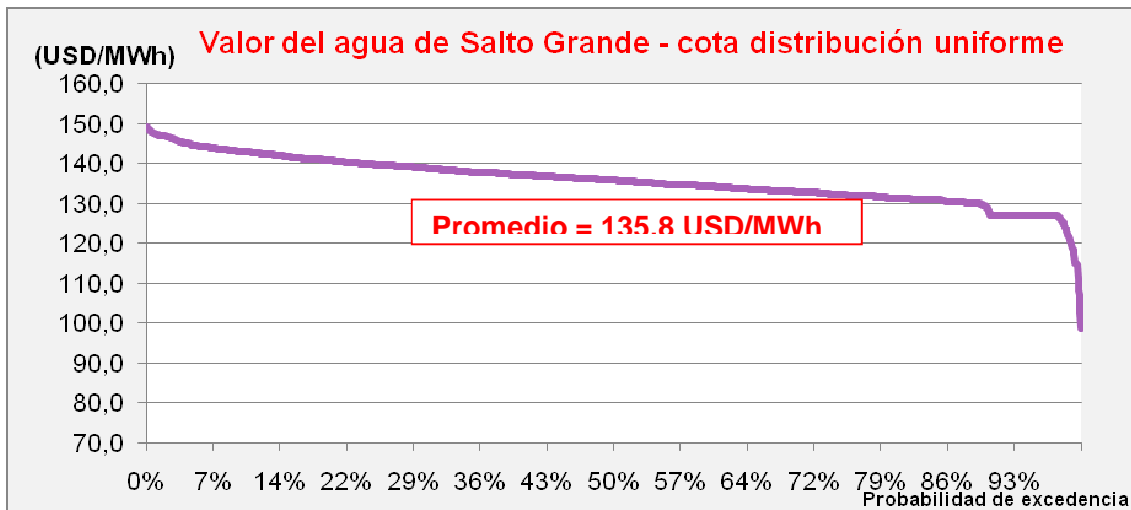


Figura 6. Se grafica la probabilidad de excedencia del valor del agua de Salto Grande para el caso I.d) así como el promedio obtenido para el mismo. Se observa que aprox.en el 90% de los casos se supera un valor de 130 USD/MWh, y que en menos del 20% de los casos se supera un valor de 140 USD/MWh, mostrando así la escasa dispersión obtenida respecto del valor promedio, de 135,8 USD/MWh, valor muy similar al obtenido en los casos I.b y I.c, donde la cota real asimismo venía impuesta.

A continuación se muestran en la Fig.7 los valores del agua de Bonete, Salto Grande y Palmar, el costo marginal del sistema, y el costo variable térmico, que en este caso corresponde a la importación (205 USD/MWh), la cual al tener un mínimo impuesto, y no sobrepasarse el mismo, no incide en el costo marginal del sistema. Se observa que se despacha, aún resultando más cara que otros recursos, justamente por tener dicho mínimo impuesto.

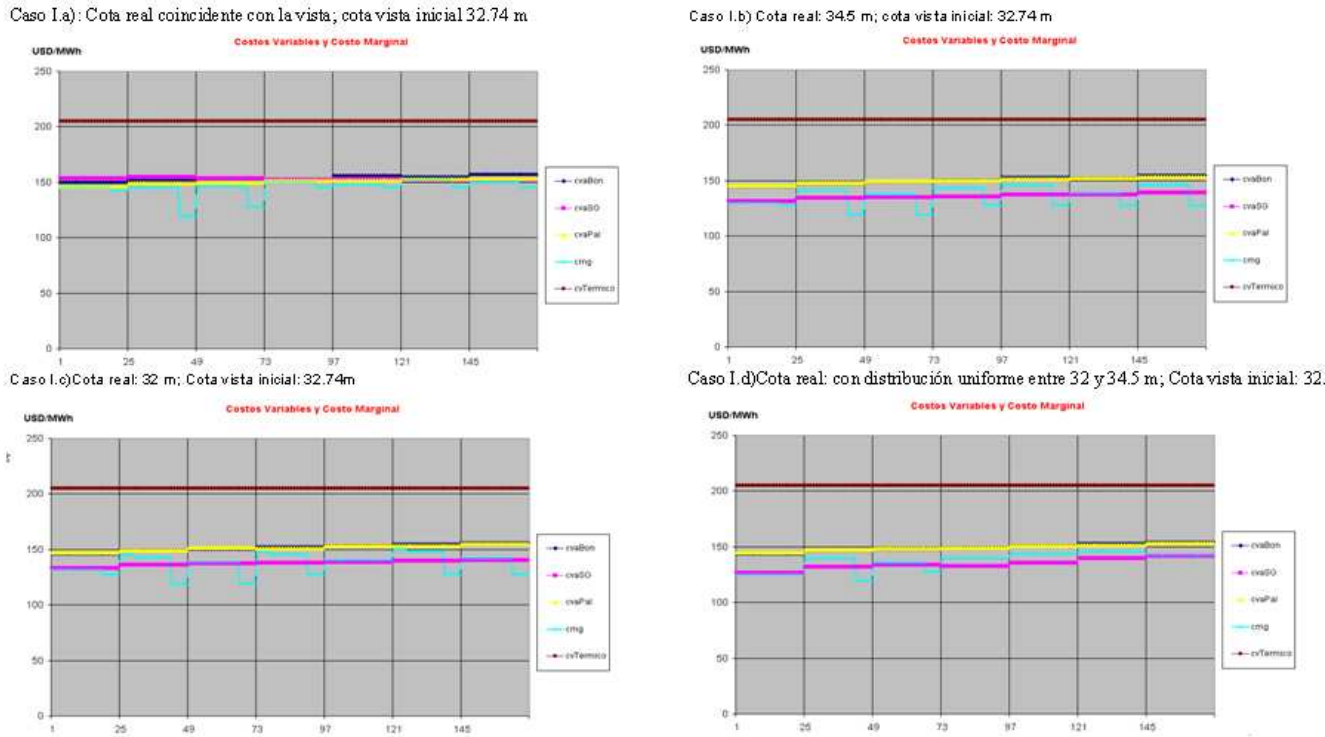


Figura 7. Se grafican los costos variables hidráulicos asociados al valor del agua de las tres centrales hidroeléctricas con embalse (Bonete en azul, Salto Grande en fucsia y Palmar en amarillo), así como el costo marginal del sistema (celeste) y el costo variable térmico (marrón) que en los casos considerados representa la importación de Brasil. En el eje de las abscisas se representan las horas correspondientes a la primer semana de la simulación. El costo marginal está representado por postes, de duración 1, 4, 13 y 6 horas respectivamente. Los restantes costos están representados por paso (diario).

En la Fig. 8 se repite el caso I.a) a los efectos de una mejor visualización de la escala.

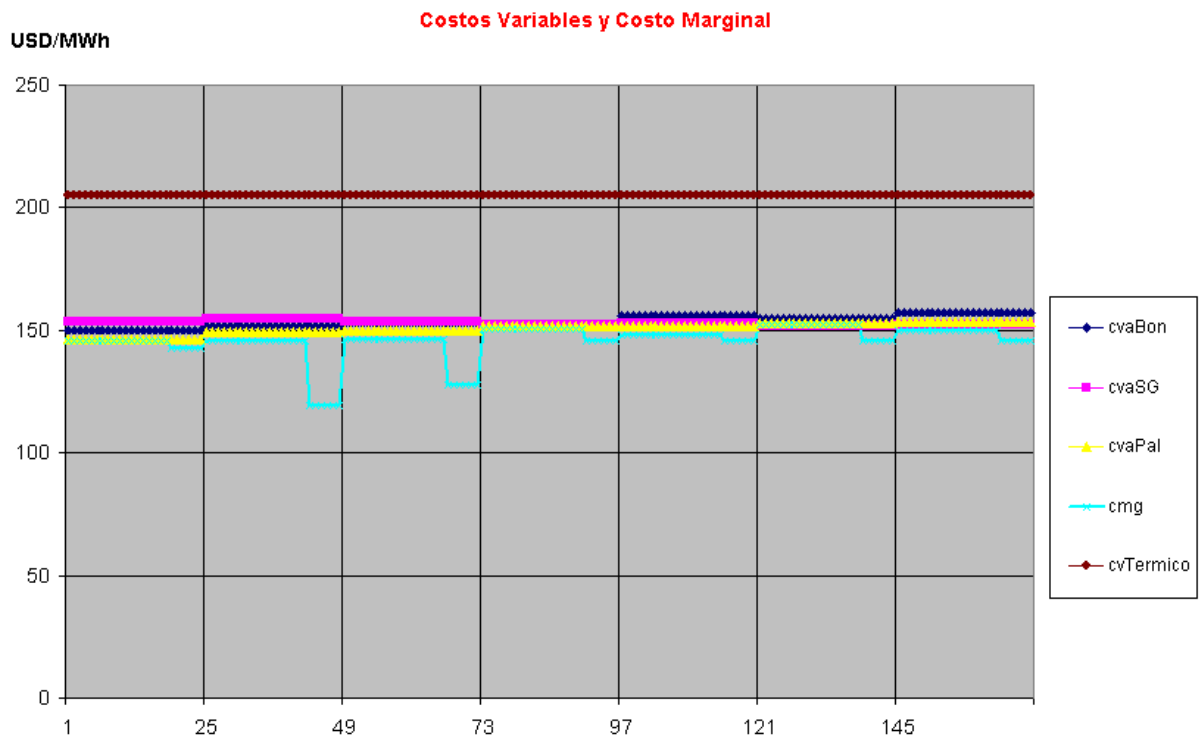


Figura 8. Amplificación de lo mostrado en la Fig.7 para el caso I.a), sin Manejo de Cota Real.

De la Fig. 7 se tiene que no se observa una mayor diferencia entre el valor del agua en Salto Grande, ni en las demás represas, en las corridas correspondientes a los casos I.b, I.c y I.d, resultando siempre Salto Grande algo más barato y en el entorno de los 135 USD/MWh, mientras que el Río Negro se mantiene en el entorno de los 150 USD/MWh. Esto es así porque al asumir una cota real constante en Salto Grande, el despacho que se realice no afecta la cota real (impuesta desde fuera), por lo cual dicha agua pierde valor, promoviéndose así su uso, frente a una mayor valorización de embalsar agua en Bonete y/o Palmar.

Si comparamos lo que se tiene para el caso I.a, se observa que los valores cambian, pues si bien la cota vista inicial también es 32,74m, el SimSEE considera que ambas cotas son coincidentes en todo momento y que la cota real tiene libertad de variar (junto con la vista). Se observa aquí que el valor del agua en Salto Grande es mayor, y supera en algunos casos al Río Negro (Fig.8). Esto es coherente con el mayor despacho de Río Negro observado en la Fig.5, donde se observaba una mayor valorización del agua de Salto Grande, economizando ésta en el despacho, pues el uso de la misma afectará la cota real, bajándola, por lo cual disminuirá su valor energético, así como el de los aportes que lleguen.

Para los casos considerados en II).

A continuación se analiza el resultado de eliminar la disponibilidad de importación de Brasil, la cual era sistemáticamente despachada en los casos anteriores, siempre en el mínimo impuesto (160 MW por Garabí y 70 MW por Rivera en las madrugadas hasta 7h y domingos hasta 17h). Se busca analizar el efecto de quitar esa disponibilidad de potencia, sobre el despacho y valor del agua de Salto Grande. Asimismo se busca ver si las conclusiones alcanzadas en los casos anteriores, siguen siendo válidas.

En forma general, se observa que se sigue despachando diariamente Salto Grande en forma importante y no se despacha falla. El resumen de los resultados obtenidos se muestra en la Tabla IV.

Sin importacion de Brasil

caso	cota real (m)	cota vista (m)	cota vista 1er paso(m)	cota vista final (m)	Qturbinado promedio SG (m3/s)	Energía generada SG (MWh)	c.var. SG (USD/MWh)	c.var. Bonete (USD/MWh)	c.var. Palmar (USD/MWh)	Costo marginal (USD/MWh)
II.a)	sigue a la vista	32.74	32.9	33.5	339	13,948	190.6	177.1	173.8	176.1
II.b)	34.5	32.74	32.6	32.4	909	37,019	161.0	171.4	167.5	162.3
II.c)	32	32.74	32.6	32.3	862	36,513	166.0	175.7	171.5	166.8
II.d)	34,4 - 32.8	32.74	32.6	32.2	931	38,939	159.1	171.2	167.8	161.4

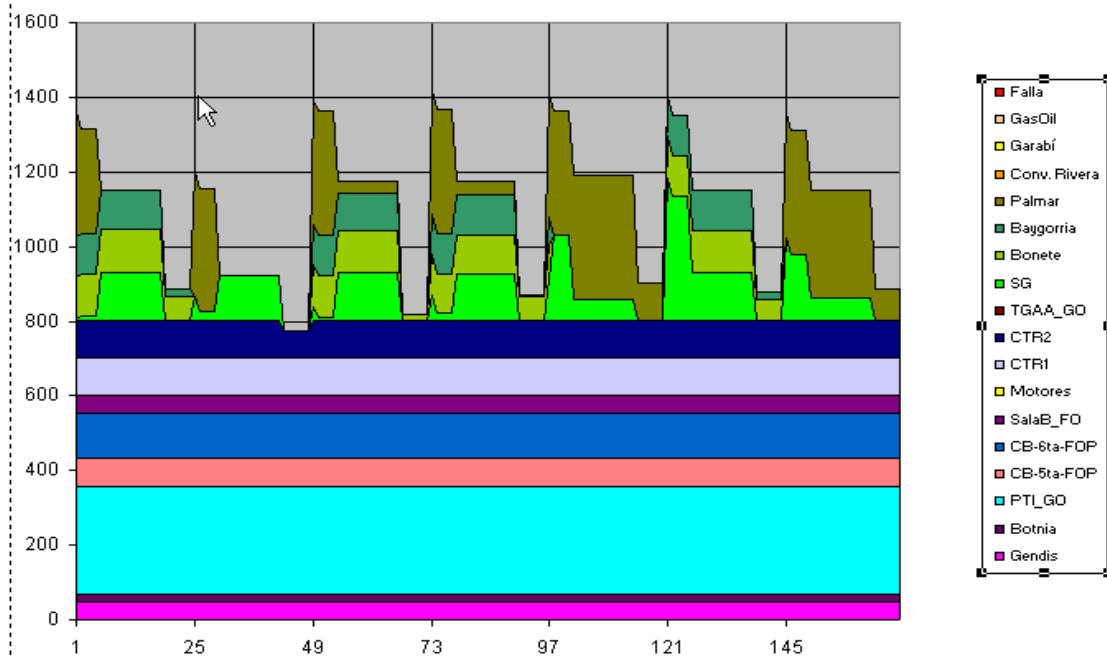
Tabla IV. Se muestra para los mismos cuatro casos considerados en I), cuya cota vista inicial es siempre 32,74m, la variación en la misma después del primer paso de la simulación y su valor al final de la semana simulada (sem.27). Asimismo se muestra el caudal turbinado promedio (en la semana simulada) en Salto Grande, la energía total generada en Salto Grande en dicha semana y los costos variables promedio de Salto Grande, Bonete y Palmar, así como el costo marginal promedio del sistema. En todos los casos, la única importación que se considera disponible es la de origen Gas Oil desde Argentina, habiéndose eliminado la disponibilidad de importación de Brasil, sea desde la Conversora de Garabí que desde Rivera. Nota: En todos los casos, el caudal aportado promedio semanal, es de 713 m³/s.

El valor del agua de todas las centrales hidroeléctricas aumenta respecto a los casos considerados en I) al no contar con la importación que se despachaba en forma impuesta desde Brasil; dicha porción de la demanda se satisface ahora con agua, y con las CTRs operando a pleno. Asimismo se observa que la energía generada con Salto Grande en los casos II) es algo menor que en los casos I) y que la cota vista final de Salto Grande es algo mayor, mostrando un leve indicio de una mayor valorización de Salto Grande como respaldo de potencia del sistema.

A continuación se muestra gráficamente en la Fig.9, para cada caso analizado, con qué recurso se satisface la demanda, esto es, se muestra el despacho correspondiente a la primera semana de la simulación.

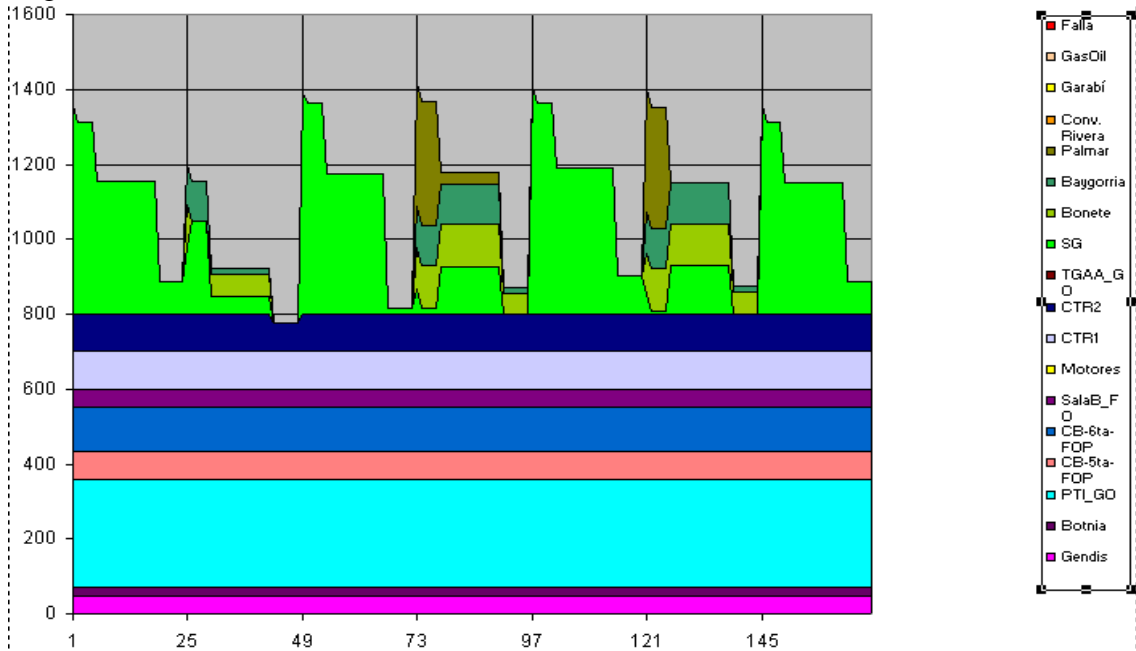
Resultado II.a:

Cota real coincidente con la vista; cota vista inicial 32.74 m; solo disponible importación Gas Oil desde Argentina



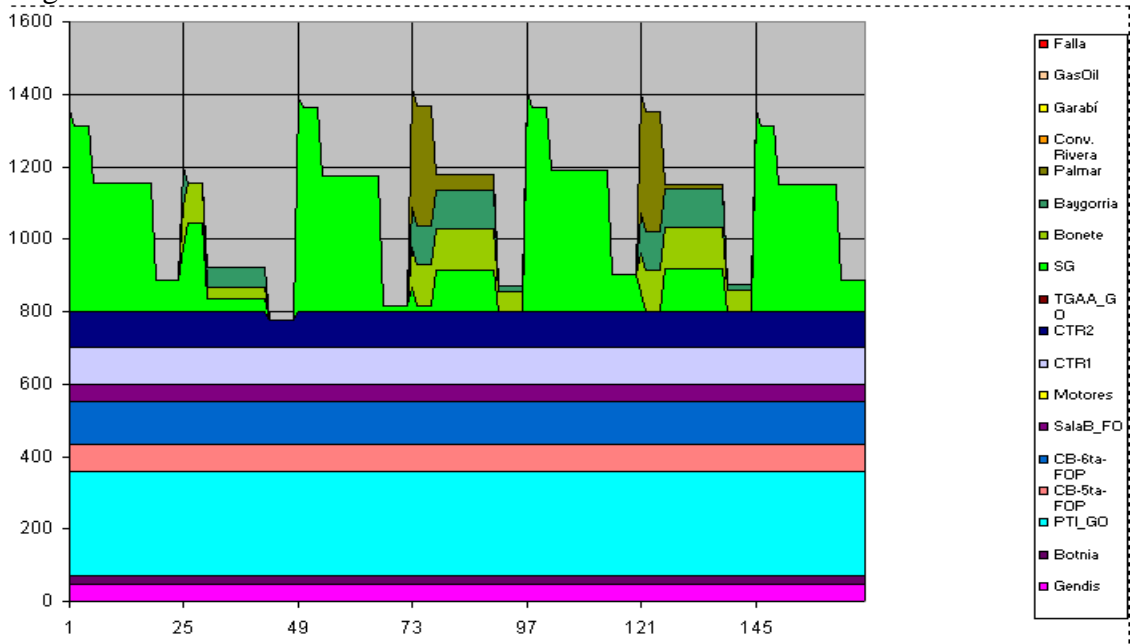
Resultado II.b:

Cota real: 34.5 m; cota vista inicial: 32.74 m; solo disponible importación Gas Oil desde Argentina



Resultado II.c:

Cota real : 32 m ; Cota vista inicial: 32.74 m; solo disponible importación Gas Oil desde Argentina



Resultado II.d:

Cota real: con distribución uniforme entre 32 y 34.5 m; Cota vista inicial: 32.74 m; solo disponible importación Gas Oil desde Argentina

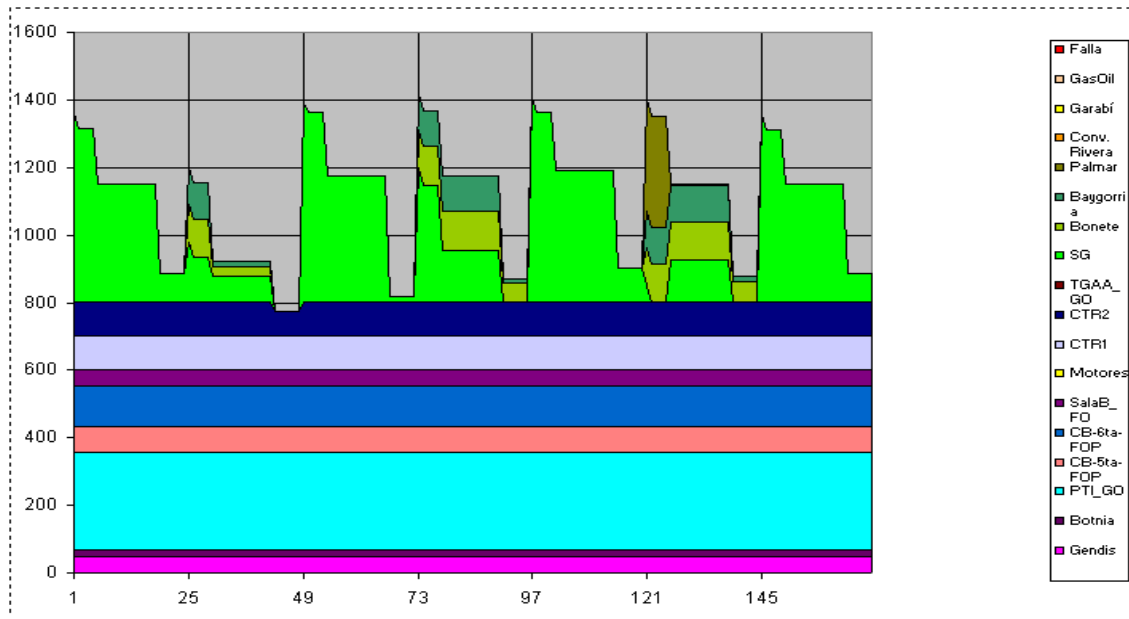


Figura 9. Se muestra el despacho obtenido para la primer semana para los cuatro casos considerados en I), cuya cota vista inicial es siempre 32,74m, mientras que la cota real acompaña a la vista en el primer caso, es constante en los dos casos siguientes, de valor 34,5 y 32m respectivamente y tiene distribución uniforme entre 32 y 34,5m en el último. En el eje de las abscisas se representan las horas de la semana, y en las ordenadas el acumulado de la potencia generada (MW) por cada recurso del sistema a los efectos de satisfacer la demanda. Esta se representó por medio de 4 postes horarios monótonos, de duración 1, 4, 13 y 6 horas respectivamente. A la derecha se muestra el código de colores correspondiente a cada recurso disponible del sistema. En todos los casos, la única importación que se considera disponible es la de origen Gas Oil desde Argentina, habiéndose eliminado la disponibilidad de importación de Brasil, sea desde la Conversora de Garabí que desde Rivera. Se observa que en todos los casos se despachan las CTRs a pleno y agua en sustitución de dicha importación. Se constata nuevamente un uso significativo de Salto Grande en todos los casos, a excepción del primero donde la cota real no se encuentra impuesta, frente a un uso mucho más marcado del Río Negro en su lugar.

A continuación se muestran en la Fig.10 los valores del agua de Bonete, Salto Grande y Palmar, el costo marginal del sistema, y el costo variable térmico, que en este caso corresponde a las CTRs (145,6 USD/MWh), las cuales resultan más baratas que el agua. No así la TGAA, la cual no se despacha, ni tampoco la importación disponible de gasoil de Argentina, ni la falla. El costo marginal del sistema viene dado por el agua.

Todos los casos consideran importación únicamente de origen Gas Oil desde Argentina

Caso II.a) Cota real coincidente con la vista; cota vista inicial: 32.74 m

Caso II.b) Cota real 34.5 m; cota vista 32.74 m;

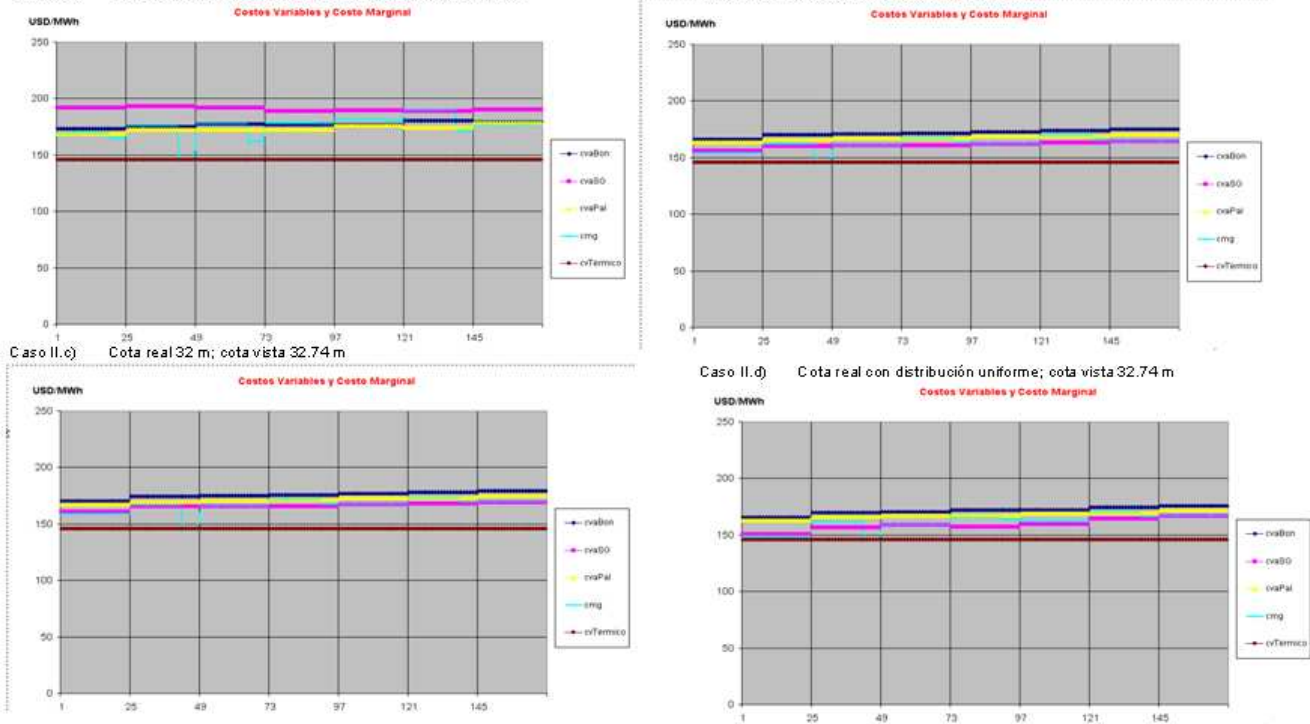


Figura 10. Se grafican los costos variables hidráulicos asociados al valor del agua de las tres centrales hidroeléctricas con embalse (Bonete en azul, Salto Grande en fucsia y Palmar en amarillo), así como el costo marginal del sistema (celeste) y el costo variable térmico (marrón) que en los casos considerados representa el costo de las CTRs. En el eje de las abscisas se representan las horas correspondientes a la primera semana de la simulación. El costo marginal está representado por postes, de duración 1, 4, 13 y 6 horas respectivamente. Los restantes costos están representados por paso (diario).

En la Fig. 11 se repite el caso II.a) a los efectos de una mejor visualización de la escala.

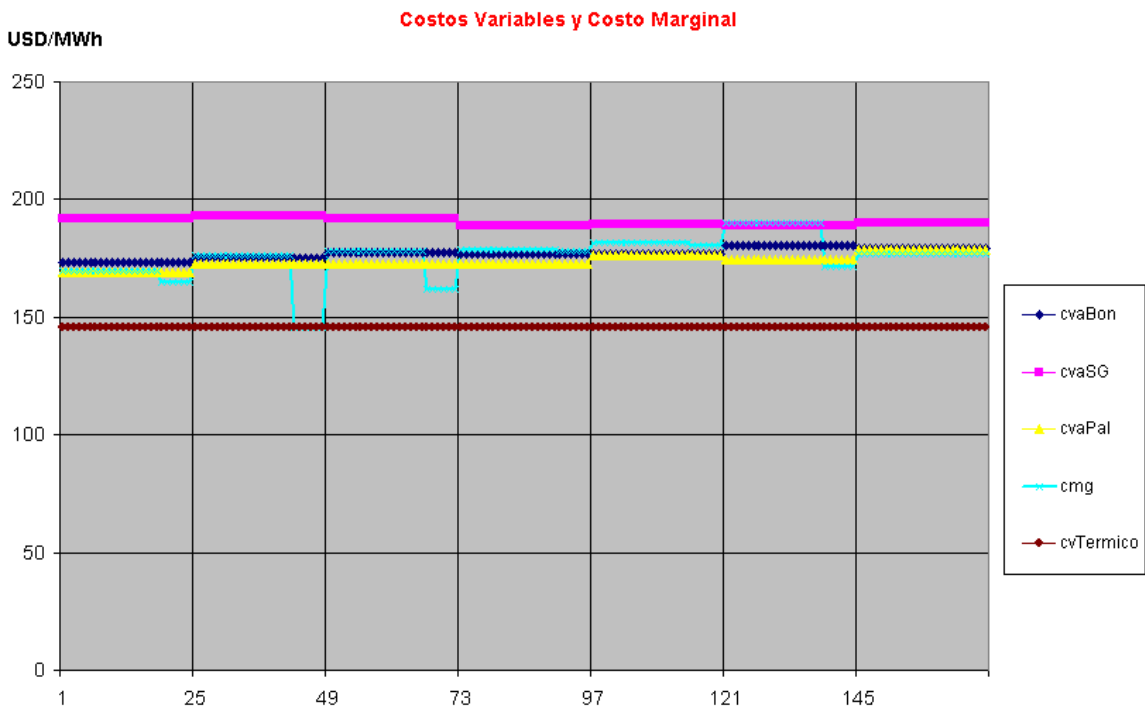


Figura 11. Amplificación de lo mostrado en la Fig.7 para el caso I.a), sin Manejo de Cota Real.

Se observa que se despachan las CTRs a pleno toda la semana, puesto que su costo variable resulta ahora menor que el valor del agua de cualquiera de las represas. En consiguiente se observa apenas un ligero incremento en el despacho de Salto Grande a cotas reales mayores (caso II.b frente a II.c), no siendo tan notorio como en el caso I, puesto que el agua solo se usa para cubrir la diferencia de demanda, evitando despachar la siguiente máquina térmica (TGAA) que resultaría más cara. Este análisis muestra que al eliminar la disponibilidad de importación, el valor del agua se incrementó notoriamente para todas las represas (del orden de 30 USD/MWh), siendo mayor el incremento para el caso de cota real más baja, así como para el caso de libre variación de cota real (caso II.a). Asimismo se nota un incremento en la valorización del agua de Salto frente a las demás represas, indicio de una mayor valorización de Salto Grande como respaldo de potencia del sistema.

A continuación se muestra en la Tabla V un cuadro comparativo para los 10 casos considerados bajo las hipótesis de importación de los casos I y los mismos 10 casos para las hipótesis de los casos II, esto es, considerando solo disponibilidad de importación origen Gas Oil desde Argentina. Se observa el aumento del costo variable de Salto Grande cuando la disponibilidad de importación disminuye.

caso	cota real (m)	cota vista (m)	CON IMPORTACION			SIN IMPORTACION		
			Qturbinado promedio (m3/s)	Energía generada (MWh)	cvarSG promedio (USD/MWh)	Qturbinado promedio (m3/s)	Energía generada (MWh)	cvarSG promedio (USD/MWh)
0)	sigue a la vista	32,74	300	12.353	153,0	339	13.948	190,6
1)	32,74	32,74	1.028	41.075	136,4	909	36.663	164,4
2)	34,5	32,74	1.065	44.817	135,7	862	37.019	161,0
3)	32	32,74	1.042	40.592	137,5	931	36.513	166,0
4)	34,4-32,8	32,74	1.176	48.112	135,8	939	38.939	159,1
5)	30	35	1.331	46.562	131,4	1.071	38.447	155,6
6)	35	30,5	876	37.727	136,6	876	37.736	164,2
7)	30	32,74	1.042	37.770	138,6	996	36.104	170,3
8)	35	32,74	1.264	53.513	134,2	850	37.120	160,1
9)	30,5	30,5	876	32.269	140	876	32.243	173,0
10)	35	35	1.434	61.055	125,7	1.274	54.282	147,2

Tabla V. Se muestra para la totalidad de los casos analizados bajo las hipótesis de importación consideradas en I) y II), las cotas real y vista iniciales correspondientes, el caudal turbinado promedio (en la semana simulada, sem.27) en Salto Grande, la energía total generada en Salto Grande en dicha semana y los costos variables promedio asociados al valor del agua correspondientes a Salto Grande. En el caso "con importación" se encuentra disponible la importación desde Brasil, con un mínimo impuesto de 160 MW por Garabí y 70 MW por Rivera. En el caso "sin importación" la única importación que se considera disponible es la de origen Gas Oil desde Argentina, habiéndose eliminado la disponibilidad de importación de Brasil. Se observa para todos los casos un incremento en los valores del agua de Salto Grande, del orden de los 30 USD/MWh. Nota: En todos los casos, el caudal aportado promedio semanal, es de 713 m³/s.

Para los casos considerados en III).

Estos casos consideran una cota real constante de 30.5m y una cota vista inicial de 30.5m. Se busca analizar la sensibilidad frente a la disponibilidad de potencia firme, así como frente a la época del año que se estudia.

A modo de resumen, se muestran en la Tabla VI las principales hipótesis de los casos considerados.

Caso	Corrida en	Importación?	CTR?	Despacha falla?
III.a	Julio de 2009	Garabí, Rivera y Gas Oil	Si	No
III.b	Julio de 2009	Gas Oil	Si	No
III.c	Enero de 2009	Gas Oil	Si	Si
III.d	Julio de 2009	No	No	Si
III.e	Julio de 2009	No	Si	No

Tabla VI. Se muestran las principales hipótesis consideradas para los casos analizados bajo la hipótesis de cota real constante y cota vista inicial, ambas en 30,5m. Las corridas se realizan en la semana 27 de 2009 (invierno), a excepción del caso III.c que se realiza para la semana 1 (verano). El caso III.a) considera la totalidad de la importación disponible, así como las CTRs. Los casos III.b y c) consideran solamente disponible la importación de gasoil de Argentina, además de las CTRs. El caso III.d) es el de menor respaldo de potencia, mientras que en el caso III.e) las CTRs vuelven a estar disponible. Asimismo se muestran los resultados obtenidos para el caso del despacho de la falla. Se observa que esta se despacha en los dos últimos casos, donde existe menos respaldo de potencia disponible.

El resumen de los resultados obtenidos para los casos III se muestra en la Tabla VII.

caso	cota real (m)	cota vista (m)	cota vista 1er paso(m)	cota vista final (m)	Qturbinado promedio SG (m3/s)	Energía generada SG (MWh)	c.var. SG (USD/MWh)	c.var. Bonete (USD/MWh)	c.var. Palmar (USD/MWh)	Costo marginal (USD/MWh)
III.a	30.5	30.5	30.2	30.0	1,264	32,269	140	157.1	155.2	144.2
III.b	30.5	30.5	30.2	30.0	850	32,243	173.0	186.0	181.6	178.3
III.c	30.5	30.5	30.6	30.8	591	21,731	261.5	302.3	286.3	223.1
III.d	30.5	30.5	30.6	30.6	686	25,324	358.5	373.4	316.5	350.3
III.e	30.5	30.5	30.2	30.2	809	29,901	200.0	222.2	203.9	202.1

Tabla VII. Se muestra para los casos considerados en III), cuya cota real es constante e igual a 30,5m y cuya cota vista inicial es asimismo 30,5m, la variación en la misma después del primer paso de la simulación y su valor al final de la semana simulada (sem.27, excepto para el caso III.c, donde corresponde a sem.1). Asimismo se muestra el caudal turbinado promedio (en la semana simulada) en Salto Grande, la energía total generada en Salto Grande en dicha semana y los costos variables promedio de Salto Grande, Bonete y Palmar, así como el costo marginal promedio del sistema. La importación que se considera disponible, así como el respaldo térmico, se encuentran detallados en la Tabla VI. Nota: En todos los casos, el caudal aportado promedio semanal, es de 713 m³/s.

Los resultados muestran que para los casos III.a y III.b, la cota vista baja al mínimo permisible (30 m) y continúa turbinando los aportes que recibe. El sistema posee un amplio respaldo de potencia, dada por la importación, lo que le permite gastar sus reservas de agua.

Para los casos III.c y III.d, se cuida más el agua y la cota vista no llega al mínimo. El caso III.c se considera en uno de los meses más secos del año y en el caso III.d no se

cuenta con respaldo de potencia de importación ni de las CTRs y el costo variable de Salto Grande es el mayor.

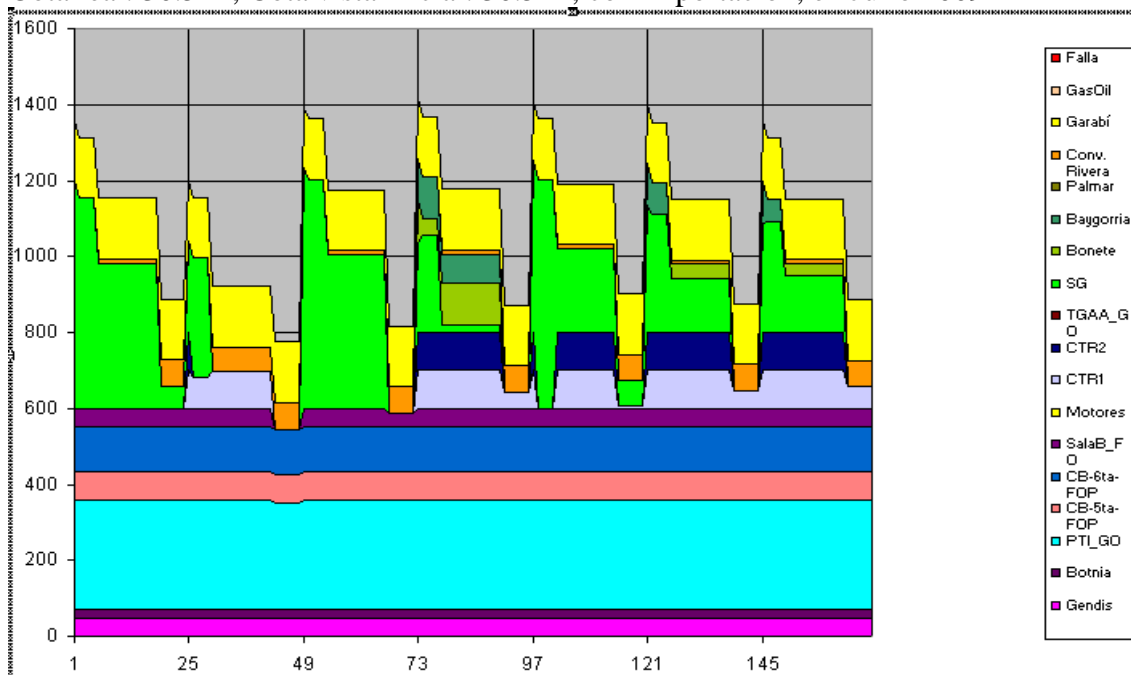
El caso III.e es comparable con el caso III.b, ya que es el caso III.b sin ninguna importación. Se observa como el costo marginal de Salto Grande sube de 173USD/MWh para el caso III.b a 200 USD/MWh para el caso III.e. Este resultado refleja como incide en el costo de Salto Grande, el no contar con el respaldo de potencia de importación, a pesar de que dicha importación de origen Gas Oil desde Argentina (300 USD/MWh) es aún mas cara que el primer escalón de falla (250 USD/MWh) y no se despacha.

Se observa que solo en los casos III.c y III.d se despacha falla. En el caso III.c esto es debido a que la corrida se realiza para el mes mas seco del año y para el caso III.d, se le quita al sistema las CTR y toda la importación.

A continuación se muestra gráficamente en la Fig.12, para cada caso analizado en III, con qué recurso se satisface la demanda, esto es, se muestra el despacho correspondiente a la primera semana de la simulación.

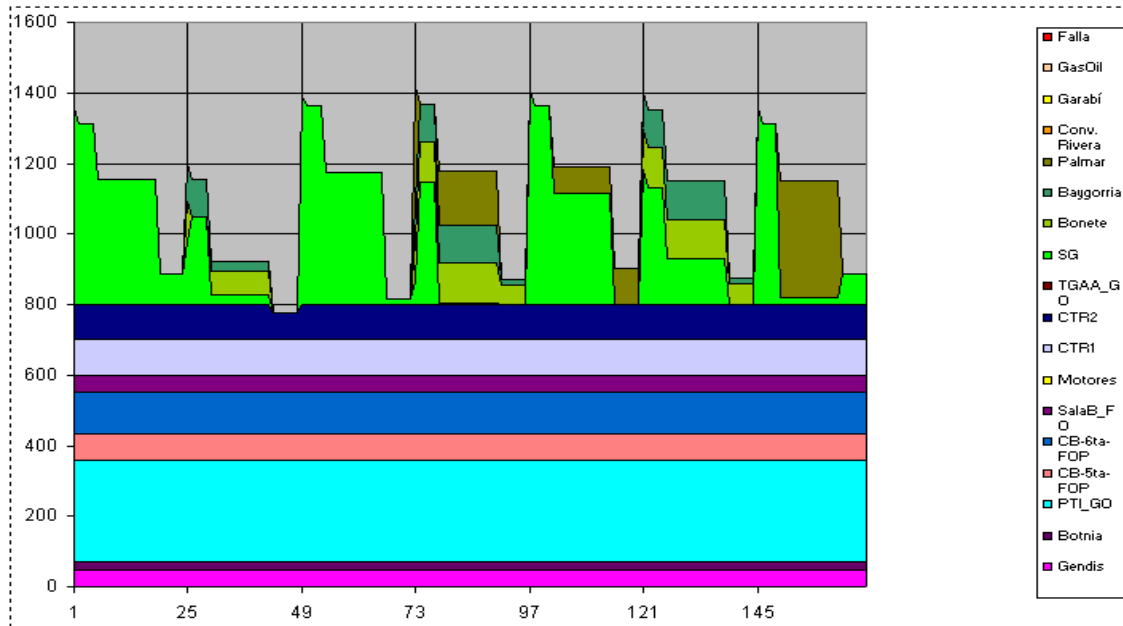
Resultado III.a:

Cota real: 30.5 m; Cota vista inicial: 30.5 m; con importación, en Julio 2009



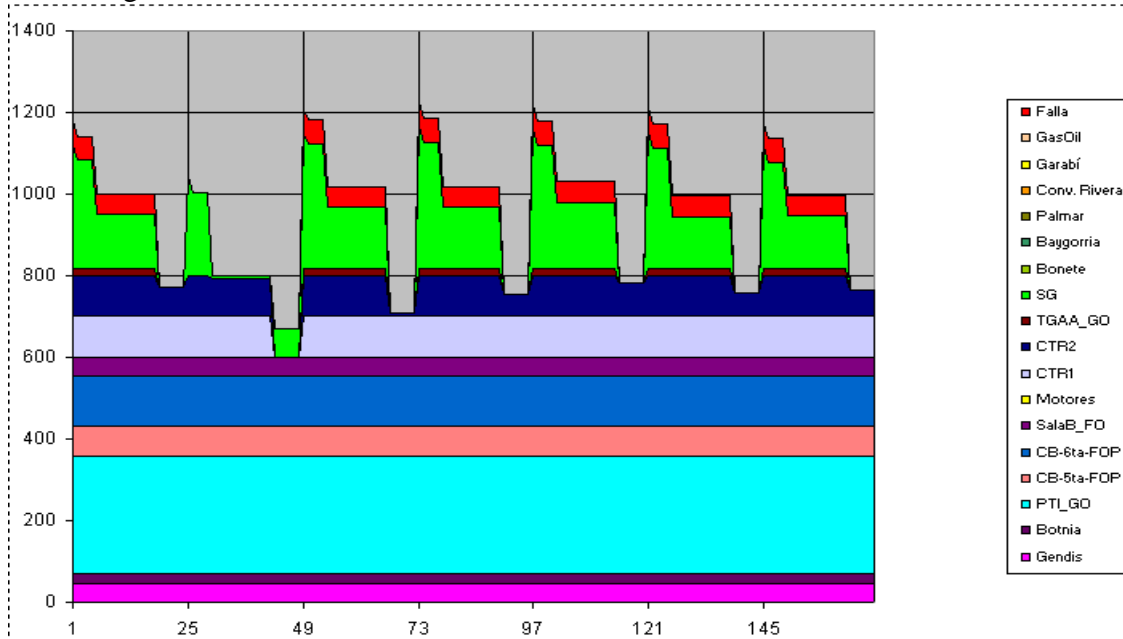
Resultado III.b:

Cota real: 30.5 m; Cota vista inicial: 30.5 m; con disponibilidad de importación solo origen Gas Oil desde Argentina, en Julio 2009



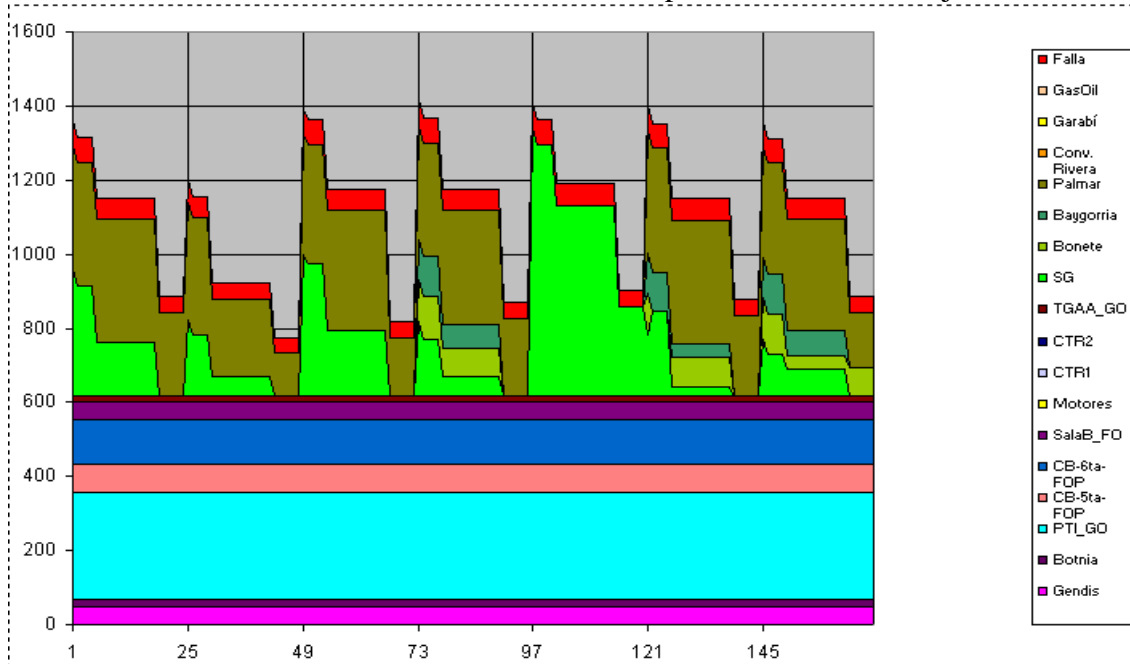
Resultado III.c:

Cota real: 30.5 m; Cota vista inicial: 30.5 m; con disponibilidad de importación Gas Oil desde Argentina, en enero 2009



Resultado III.d):

Cota real: 30.5 m: cota vista inicial: 30.5 m; Sin importación ni CTR; en julio 2009



Resultado III.e):

Cota real: 30.5 m: cota vista inicial: 30.5 m; Sin importación y con CTR; en julio 2009

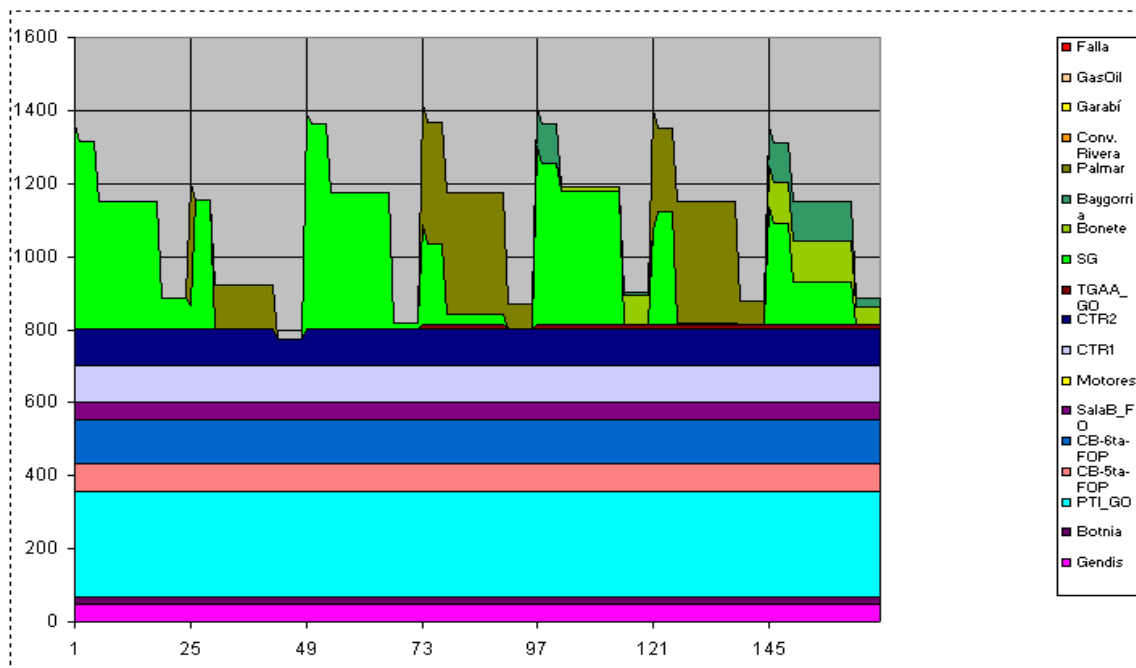


Figura 12. Se muestra el despacho obtenido para la primer semana para los cinco casos considerados en III), cuya cota vista inicial es siempre 30,5m, y la cota real constante de valor asimismo 30,5m. En el eje de las abscisas se representan las horas de la semana, y en las ordenadas el acumulado de la potencia generada (MW) por cada recurso del sistema a los efectos de satisfacer la demanda. Esta se representó por medio de 4 postes horarios monótonos, de duración 1, 4, 13 y 6 horas respectivamente. A la derecha se muestra el código de colores correspondiente a cada recurso disponible del sistema. La importación que se considera disponible, así como el respaldo térmico, se encuentran detallados en la Tabla VI.

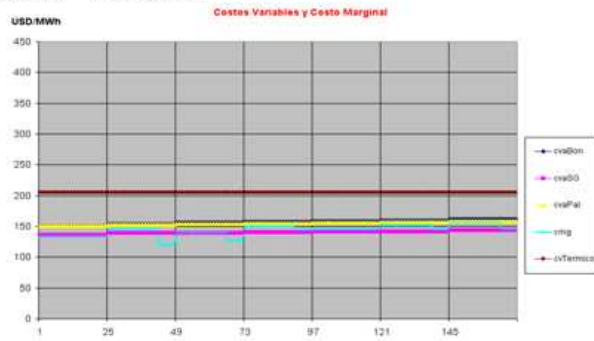
Se observa del caso III.c) que en verano se valoriza notoriamente más el agua que en invierno: si se observa este mismo caso, sin importación de Brasil, se tenía un valor de agua para Salto Grande de 173 USD/MWh (III.b). Se observa que se despachan todas las máquinas térmicas a pleno toda la semana. El incremento en el valor del agua (del orden de 90 USD/MWh) se debe a que en verano se opta por almacenar agua, previendo su futuro despacho para satisfacer la demanda invernal, estación en la cual el valor del agua baja notoriamente pues se utiliza el agua almacenada, no teniendo sentido guardarla para el verano. Se despacha el primer escalón de falla (5% de la demanda) completándose el resto con agua, la cual no alcanza un valor como para que se produzca despacho de falla 2 (400 USD/MWh). Al existir sin embargo respaldo de potencia disponible, el valor del agua de Salto se mantiene por debajo de Palmar y Bonete, no observándose un incremento relativo de su valor, respecto a estos últimos.

Se tiene que asimismo se despacha la falla en el caso III.d) (invierno), además de todas las máquinas térmicas a pleno, incluyendo la más cara disponible (TGAA, 201 USD/MWh) durante toda la semana. El valor del agua resulta ahora notoriamente más alto, muy por arriba del primer escalón de falla, razón por la cual se despacha esta a pleno (5% de la demanda) completándose el resto con agua, la cual no alcanza un valor como para que se produzca despacho de falla 2. Este análisis muestra que al eliminar 200 MW térmicos dados por las CTRs, además de la disponibilidad de importación, el sistema entra en falla. El valor del agua de Salto Grande es ahora mucho mayor al de Palmar y supera a Bonete a finales de la semana, dado que a falta de respaldo térmico, el respaldo de potencia de Salto Grande cobra mayor importancia.

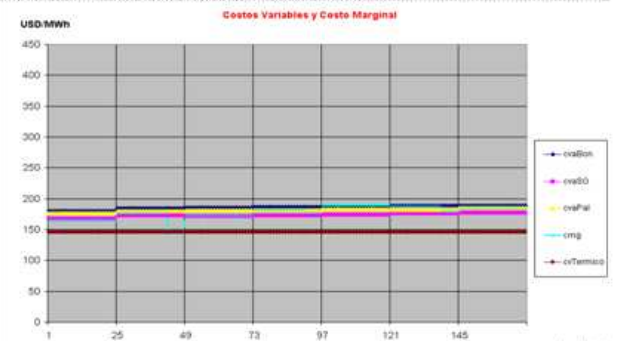
En el caso III.e) se observa que se despacha la TGAA (máquina térmica más cara disponible, 201 USD/MWh) solo hacia finales de la semana, además de las CTRs a pleno toda la semana. Se observa un despacho hidráulico predominante de Salto Grande y Palmar, puesto que el agua es necesaria para cubrir la diferencia de demanda, habiéndose agotado los recursos térmicos. Este análisis muestra que al eliminar la disponibilidad de importación, aunque esta no se usara por su elevado precio, incrementó el valor del agua notoriamente. El valor del agua de Salto Grande tiende a igualar el de Palmar.

A continuación se muestran en la Fig.13 los valores del agua de Bonete, Salto Grande y Palmar, el costo marginal del sistema, y el costo variable térmico, de los distintos casos III considerados (en todos los casos la cota real es 30.5m y la cota vista es de 30.5 m). En el primer caso el costo marginal del sistema no se ve afectado por el costo de importación, pues ésta tiene un mínimo impuesto. El mismo viene dado por el agua, excepto en algunos casos en horas de valle (poste 4) donde viene dado por alguna máquina térmica.

Caso III.a) Con importación



Caso III.b) Importación solo Gas Oil des de Argentina



Caso III.c) Caso III.b) pero Corrida en enero 2009; en vez de julio 2009



Caso III.d) Caso III.b) sin CTR's ni importación Gas Oil



Caso III.e) Equivale al caso III.b) con CTR y sin Gas Oil:

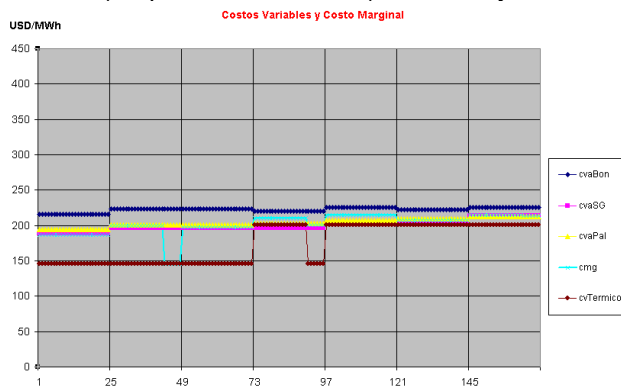


Figura 13. Se grafican los costos variables hidráulicos asociados al valor del agua de las tres centrales hidroeléctricas con embalse (Bonete en azul, Salto Grande en fucsia y Palmar en amarillo), así como el costo marginal del sistema (celeste) y el costo variable térmico (marrón). En el eje de las abscisas se representan las horas correspondientes a la primer semana de la simulación. El costo marginal está representado por postes, de duración 1, 4, 13 y 6 horas respectivamente. Los restantes costos están representados por paso (diario).

Para los casos considerados en el punto IV).

El resumen con los resultados de los casos con cotas en situaciones extremas se muestra en la Tabla VIII.

caso	cota real (m)	cota vista (m)	cota vista 1er paso(m)	cota vista final (m)	Qturbinado promedio SG (m3/s)	Energía generada SG (MWh)	c.var. SG (USD/MWh)	c.var. Bonete (USD/MWh)	c.var. Palmar (USD/MWh)	Costo marginal (USD/MWh)
IV.a)	30	35	34.8	33.9	1,176	46,562	131.4	149.3	150.6	136.1
IV.b)	35	30.5	30.3	30.0	1,331	37,727	136.6	154.3	152.0	142.6
IV.c)	30	35	34.8	34.4	939	38,447	155.6	170.1	167.7	159.8
IV.d)	35	30.5	30.3	30.0	1,071	37,736	164.2	179.9	173.9	168.9

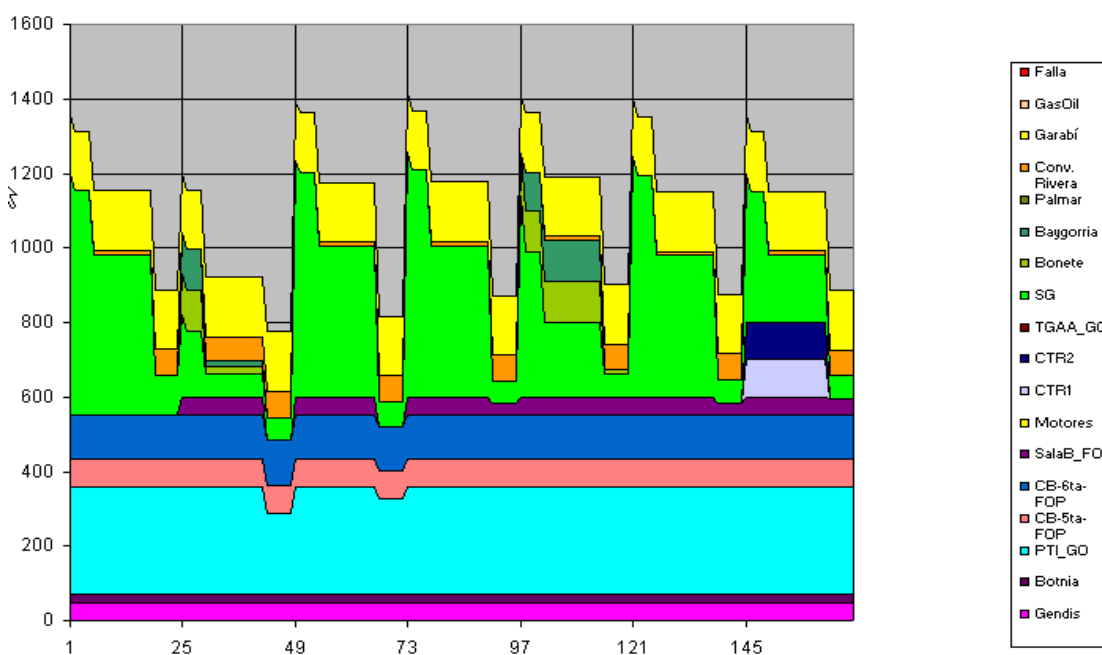
Tabla VIII. Se muestra para los casos considerados en IV), cuya cota real es constante e igual a 30m o 35m y cuya cota vista inicial es asimismo un extremo, pero el opuesto, 35m o 30,5m respectivamente, la variación en la misma después del primer paso de la simulación y su valor al final de la semana simulada (sem.27). Asimismo se muestra el caudal turbinado promedio (en la semana simulada) en Salto Grande, la energía total generada en Salto Grande en dicha semana y los costos variables promedio de Salto Grande, Bonete y Palmar, así como el costo marginal promedio del sistema. Para los casos IV.a y IV.b se encuentra disponible toda la importación, mientras que para los casos IV.c y IV.d solo se encuentra disponible la importación de gasoil desde Argentina. Nota: En todos los casos, el caudal aportado promedio semanal, es de 713 m³/s.

Se observa que a pesar de que la cota real de Salto Grande está en el mínimo o sea en los 30 metros (casos IV.a y IV.c), se despacha la represa todos los días de la semana, disminuyendo la cota vista. Asimismo para el caso IV.a) se observa que prácticamente no despacha CTR ni las centrales de Rio Negro, por simularse una cota vista muy alta.

A continuación se muestra gráficamente en la Fig.14, para cada caso analizado en IV, con qué recurso se satisface la demanda, esto es, se muestra el despacho correspondiente a la primera semana de la simulación.

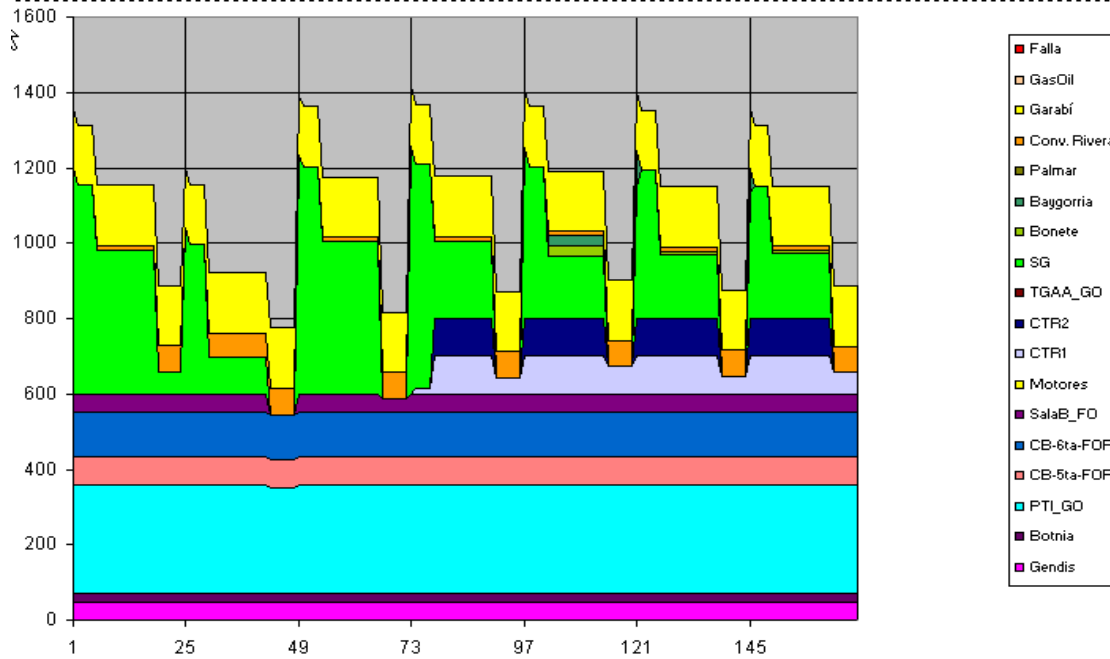
Resultado IV.a):

Cota real: 30 m; Cota vista inicial: 35 m; con importación



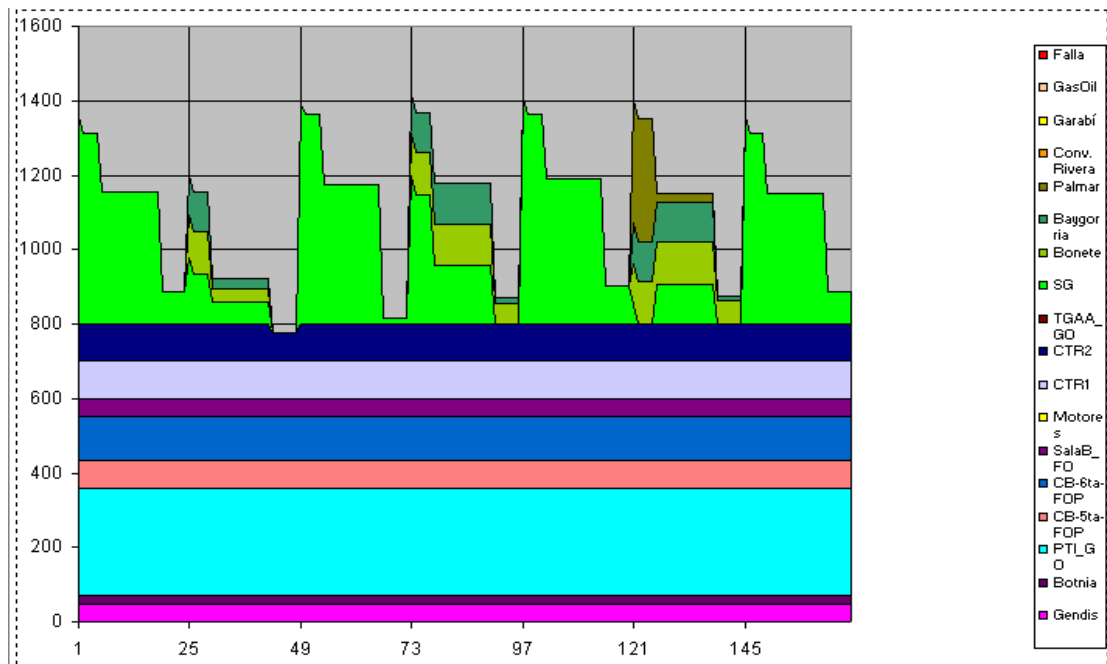
Resultado IV. b)

Cota real: 35 m; cota vista inicial: 30.5 m; con importación



Resultado IV.c):

Cota real: 30 m; cota vista inicial: 35 m; solo con importación disponible de Gas Oil desde Argentina



Resultado IV. d)

Cota real: 35m; Cota vista inicial: 30.5 m; solo con importación de Gas Oil desde Argentina

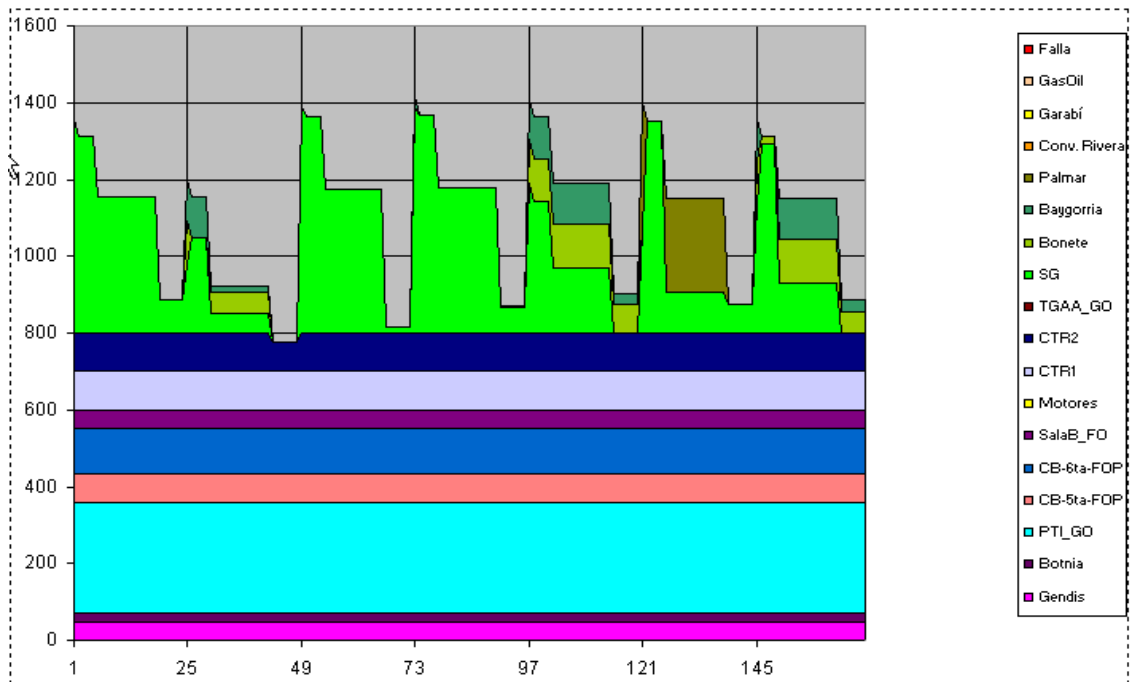


Figura 14. Se muestra el despacho obtenido para la primer semana para los cuatro casos considerados en IV), cuyas cotas vista inicial y real constante tienen valores extremos opuestos, 35 y 30m respectivamente para los casos a y c, 30,5 y 35m respectivamente para los casos b y d. En el eje de las abscisas se representan las horas de la semana, y en las ordenadas el acumulado de la potencia generada (MW) por cada recurso del sistema a los efectos de satisfacer la demanda. Esta se representó por medio de 4 postes horarios monótonos, de duración 1, 4, 13 y 6 horas respectivamente. A la derecha se muestra el código de colores correspondiente a cada recurso disponible del sistema. La importación se encuentra disponible en su totalidad en los casos IV.a y IV.b, mientras que en los casos IV.c y IV.d solo se encuentra disponible la importación gasoil de Argentina.

Cuando la cota vista de Salto Grande es prácticamente mínima, de 30.5 metros (pero la cota real es alta, 35m, próxima al vertimiento), se observa que disminuye la misma hasta el mínimo impuesto de 30 metros y posteriormente turbina solo los aportes que le llegan.

En el caso en que cuenta con toda la importación y tiene una cota real alta (IV.b) prácticamente no utiliza las centrales del Río Negro.

Se observa nuevamente un incremento en el valor del agua de Salto Grande del orden de los 30 USD/MWh en los casos en que se elimina la disponibilidad de importación de Brasil.

Para los casos considerados en el punto V).

El resumen con los resultados de los casos donde la cota real es constante (de valor 35m) y se va modificando la cota vista inicial se muestra en la Tabla IX.

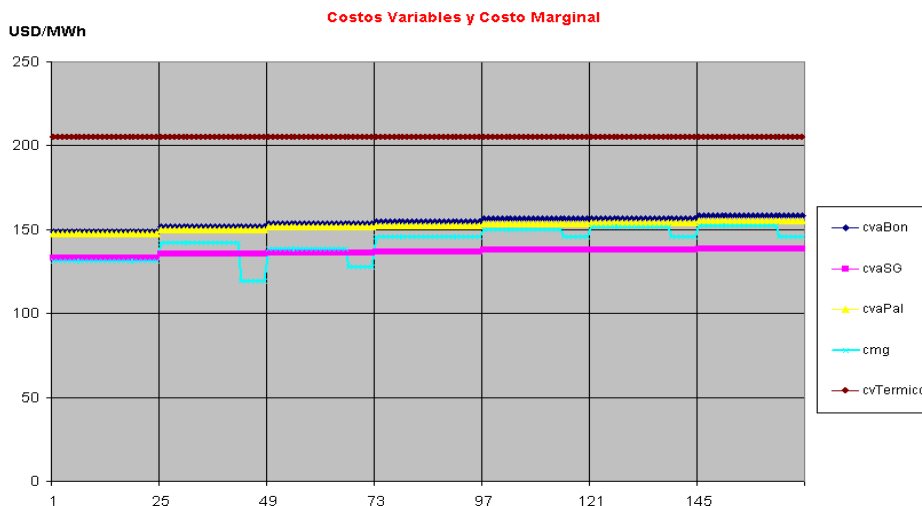
caso	cota real (m)	cota vista (m)	cota vista 1er paso(m)	cota vista final (m)	Qturbinado promedio SG (m3/s)	Energía generada SG (MWh)	c.var. SG (USD/MWh)	c.var. Bonete (USD/MWh)	c.var. Palmar (USD/MWh)	Costo marginal (USD/MWh)
V.a)	35	30,5	30,3	30,0	1.331	37.727	136,6	154,3	152,0	142,6
V.b)	35	32,74	32,6	31,4	1.042	53.513	134,2	150,0	149,8	138,5
V.c)	35	35	34,6	33,7	876	61.055	125,7	147,5	147,2	131,0
V.d)	35	30,5	30,3	30,0	1.071	37.736	164,2	179,9	173,9	168,9
V.e)	35	32,74	32,6	32,4	996	37.120	160,1	170,7	166,8	161,4
V.f)	35	35	34,7	34,0	876	54.282	147,2	162,0	160,2	152,1

Tabla IX. Se muestra para los casos considerados en V), cuya cota real es constante e igual a 35m y cuya cota vista inicial vale 30,5m, 32,74m y 35m, la variación en la misma después del primer paso de la simulación y su valor al final de la semana simulada (sem.27). Asimismo se muestra el caudal turbinado promedio (en la semana simulada) en Salto Grande, la energía total generada en Salto Grande en dicha semana y los costos variables promedio de Salto Grande, Bonete y Palmar, así como el costo marginal promedio del sistema. Para los casos V.a, V.b y V.c se encuentra disponible toda la importación, mientras que para los casos V.d, V.e y V.f solo se encuentra disponible la importación de gasoil desde Argentina. Nota: En todos los casos, el caudal aportado promedio semanal, es de 713 m³/s.

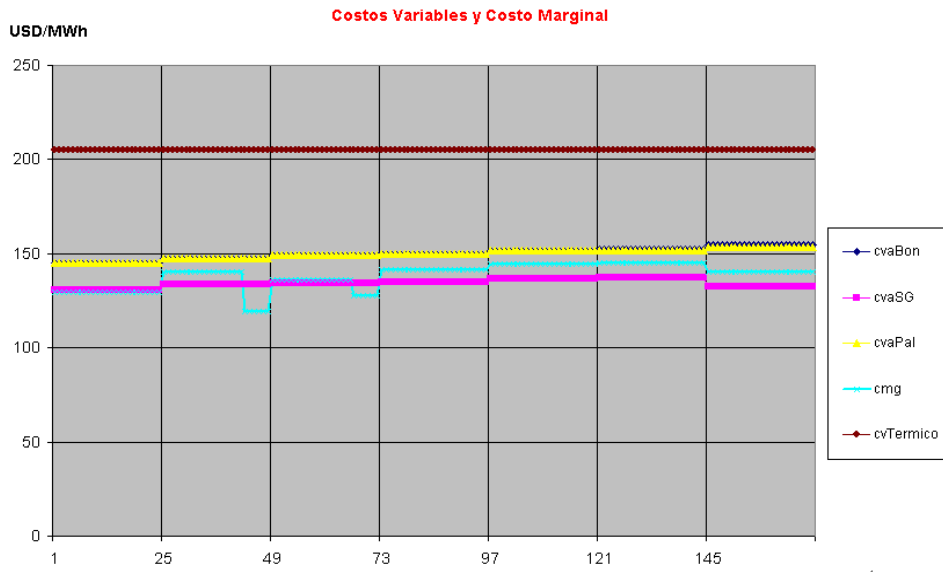
En todos los casos (con o sin importación), se observa como baja el valor del agua de Salto Grande, a medida que su cota vista aumenta, con un respectivo aumento de la energía generada por la represa. Para los casos sin importación disponible de Brasil, se observa nuevamente un incremento del orden de más de 20 USD/MWh en el valor del agua de todas las represas.

A continuación se muestran en la Fig.15 los valores del agua de Bonete, Salto Grande y Palmar, el costo marginal del sistema, y el costo variable térmico, de los distintos casos V considerados (en todos los casos la cota real es 35m y la cota vista inicial varía). En los tres primeros casos el costo marginal del sistema no se ve afectado por el costo de importación, pues ésta tiene un mínimo impuesto. El mismo viene dado por el agua, excepto en algunos casos en horas de valle (poste 4) donde viene dado por alguna máquina térmica.

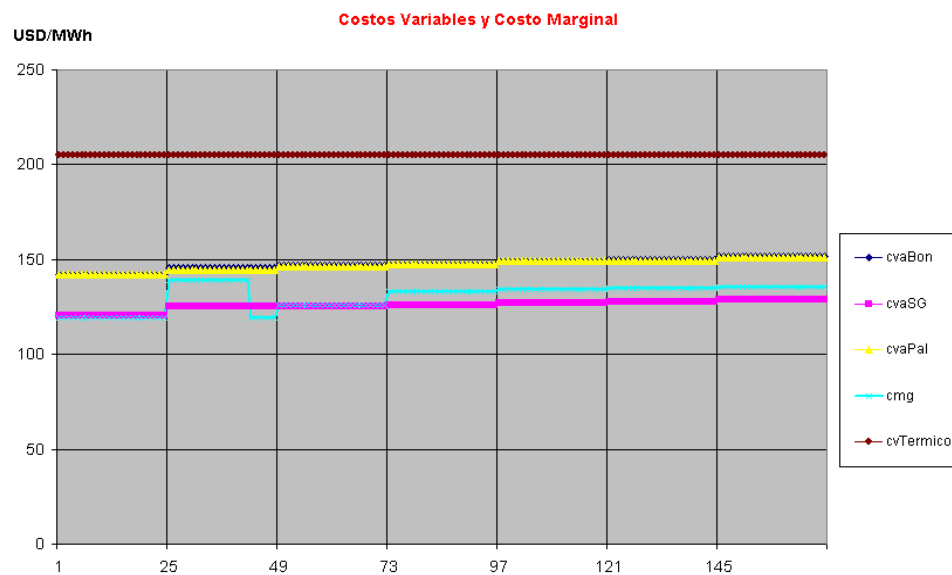
Caso V.a) Cota real = 35m; Cota vista= 30.5m; con importación



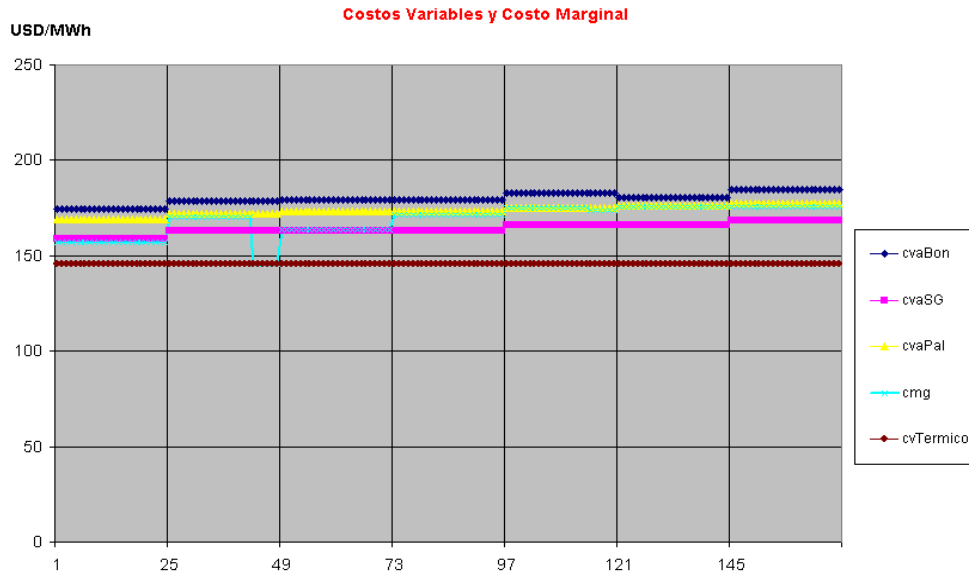
Caso V.b) Cota real = 35m; Cota vista= 32.74m; con importación



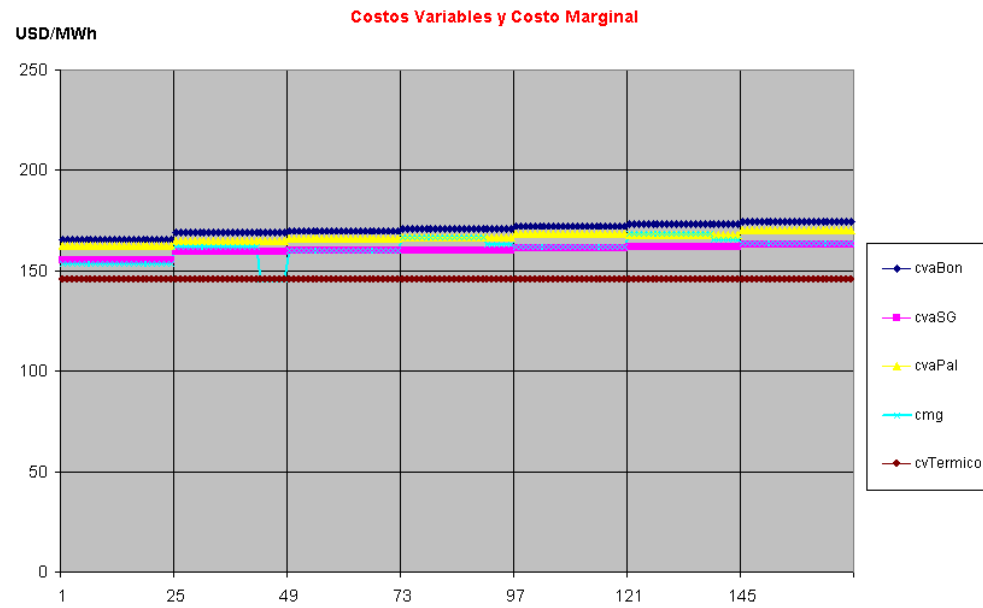
Caso V.c) Cota real = 35m; Cota vista= 35m; con importación



Caso V.d) Cota real = 35m; Cota vista= 30.5m; importación disponible: solo Gas Oil desde Argentina



Caso V.e) Cota real = 35m; Cota vista= 32.74m; importación disponible: solo Gas Oil desde Argentina



Caso V.f) Cota real = 35m; Cota vista= 35m; importación disponible solo Gas Oil desde Argentina

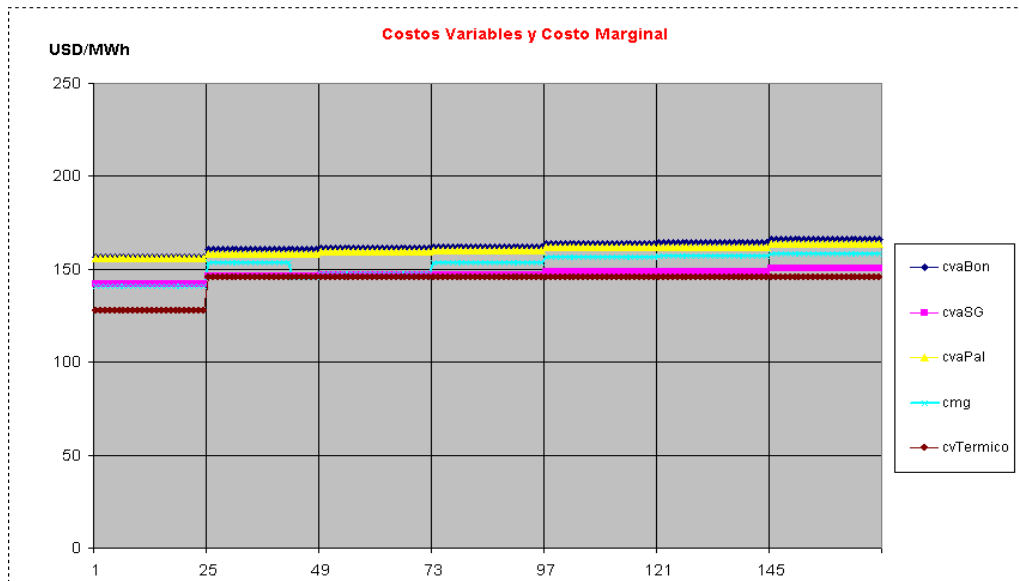
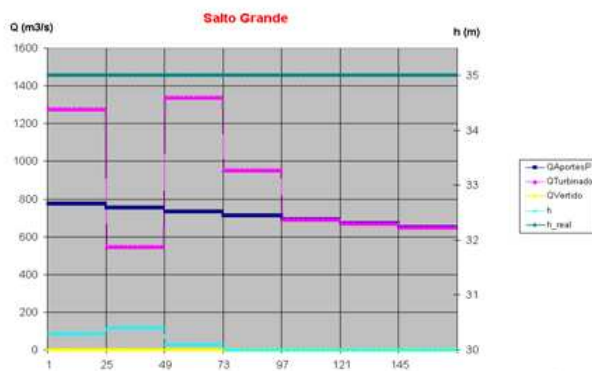


Figura 15. Se grafican los costos variables hidráulicos asociados al valor del agua de las tres centrales hidroeléctricas con embalse (Bonete en azul, Salto Grande en fucsia y Palmar en amarillo), así como el costo marginal del sistema (celeste) y el costo variable térmico (marrón). En el eje de las abscisas se representan las horas correspondientes a la primer semana de la simulación. El costo marginal está representado por postes, de duración 1, 4, 13 y 6 horas respectivamente. Los restantes costos están representados por paso (diario).

Se observa como aumentan los valores del agua para los casos en el que se cuenta con poca importación y cara, por lo cual puede verse que Salto Grande genera menos en los últimos tres casos.

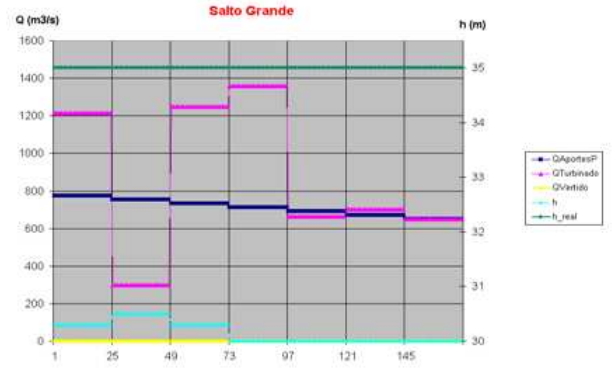
A continuación se muestran en la Fig.16 el uso que se le da a Salto Grande en la primera semana.

Caso V.a) Cota real = 35m; Cota vista= 30.5m, con importación



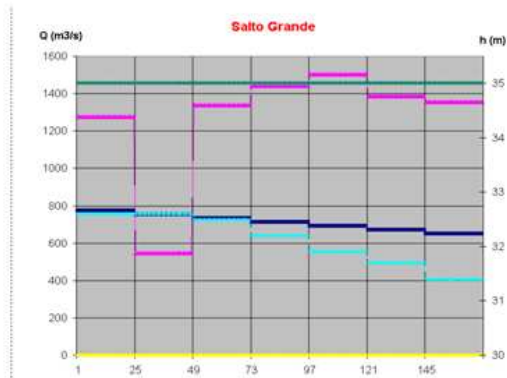
Resultado IV. d)

Cota real: 35m; Cota vista inicial: 30.5 m, solo con importación

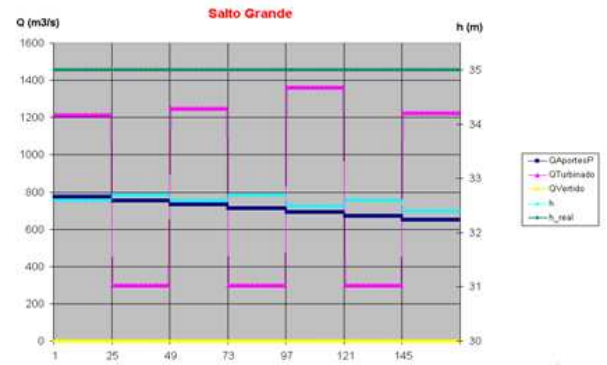


Nota: caso V.d) solo con importación origen Gas Oil desde Argentina

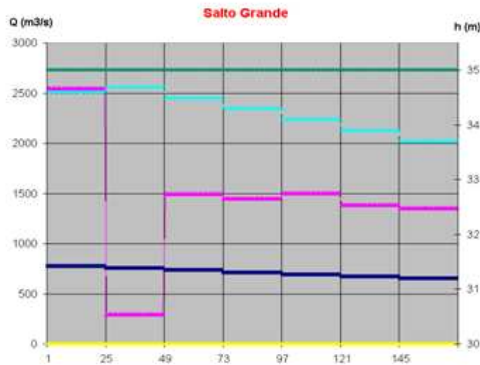
Caso V.b) CR = 35m; CV= 32.74m; con importación



Caso V.e) CR = 35m; CV= 32.74m; importación: solo Gas Oil desde Argentina



Caso V.c) CR = 35m; CV= 35m; con importación



Caso V.f) CR = 35m; CV= 35m; importación solo Gas Oil desde Argentina

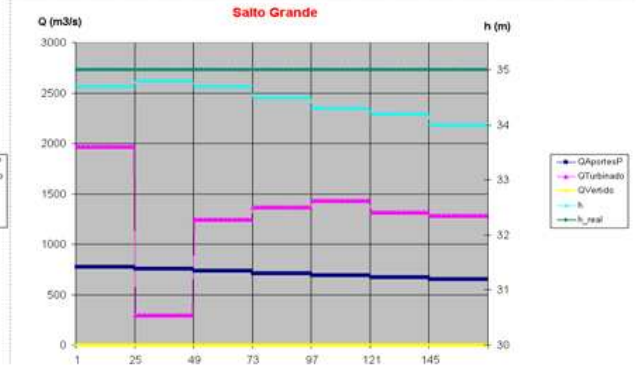


Figura 16. Se grafican distintos parámetros asociados a la operación de la represa de Salto Grande. En azul se muestra el caudal de aportes, en fucsia el caudal turbinado, en amarillo el caudal vertido, en celeste la cota vista y en verde la cota real. En el eje de las abscisas se representan las horas correspondientes a la primer semana de la simulación. En el eje izquierdo de ordenadas los valores correspondientes a los caudales, y en el eje derecho los referentes a alturas. Los valores se encuentran representados por paso (diario). En la parte izquierda de la figura se representan los casos con importación disponible de Brasil, y en la parte derecha sin esa importación, con solamente la importación de gasoil de Argentina disponible. Se representan de arriba abajo en la figura por orden creciente de cota vista inicial.

A continuación se muestra gráficamente en la Fig.17, para cada caso analizado en V, con qué recurso se satisface la demanda, esto es, se muestra el despacho correspondiente a la primera semana de la simulación.

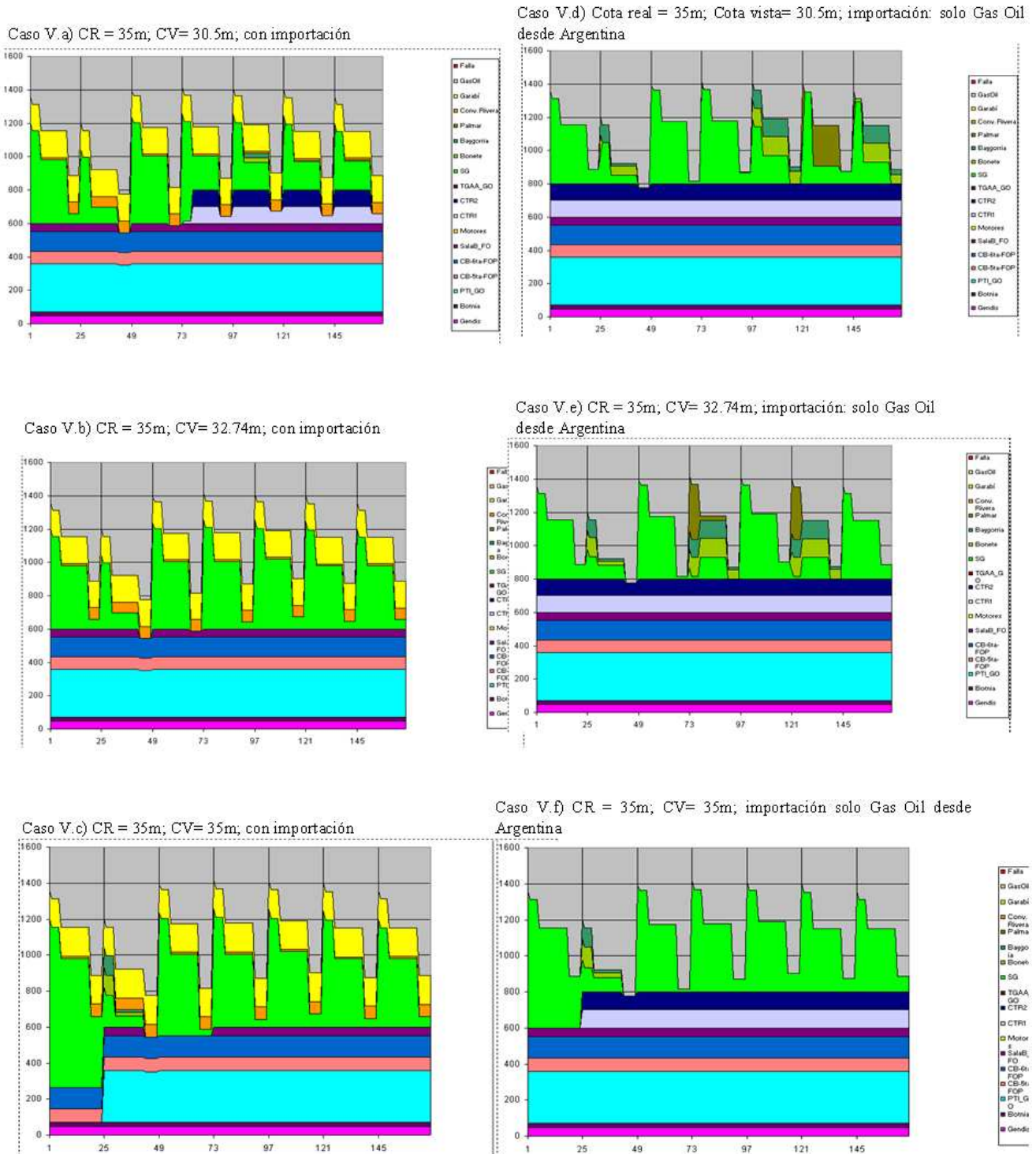


Figura 17. Se muestra el despacho obtenido para la primer semana para los seis casos considerados en V), cuya cota real se mantiene constante en 35m y cuya cota vista inicial varía desde 30,5 hasta 35m. En el eje de las abscisas se representan las horas de la semana, y en las ordenadas el acumulado de la potencia generada (MW) por cada recurso del sistema a los efectos de satisfacer la demanda. Esta se representó por medio de 4 postes horarios monótonos, de duración 1, 4, 13 y 6 horas respectivamente. A la derecha se muestra el código de colores correspondiente a cada recurso disponible del sistema. La importación se encuentra disponible en su totalidad en los casos V.a, V.b y V.c, mostrados a la izquierda de la figura, mientras que en los casos V.d, V.e y V.f solo se encuentra disponible la importación gasoil de Argentina (se muestran en la parte derecha de la figura).

Se puede observar la notoria diferencia en el despacho de Salto Grande en los casos extremos (cota vista 30.5m y 35m respectivamente). En el caso de cota vista alta (además cota real alta, próxima al vertimiento), se despacha Salto Grande a pleno, generándose casi el doble que en el caso de cota vista baja, no se usan las CTRs y un día incluso se prescinde de las PTI en su totalidad, mientras que en el caso con cota vista inicial de 30.5 m se sustituye parte de esa generación por las CTR e incluso algo de Rio Negro, economizándose más el agua de Salto Grande, a pesar de que la cota real considerada es siempre alta (35m).

Para los casos considerados en el punto VI).

El resumen con los resultados de los casos donde la cota real es constante, opuesta al caso V) anterior (de valor 30 o 30,5m) y se va modificando la cota vista inicial, se muestra en la Tabla X.

caso	cota real (m)	cota vista (m)	cota vista 1er paso(m)	cota vista final (m)	Qturbinado promedio SG (m ³ /s)	Energía generada SG (MWh)	c.var. SG (USD/MWh)	c.var. Bonete (USD/MWh)	c.var. Palmar (USD/MWh)	Costo marginal (USD/MWh)
VI.a)	30,5	30,5	30,2	30,0	1.264	32.269	140	157,1	155,2	144,2
VI.b)	30	32,74	32,5	32,0	876	37.770	138,6	153,1	152,8	140,5
VI.c)	30	35	34,8	33,9	1.176	46.562	131,4	149,3	150,6	136,1
VI.d)	30,5	30,5	30,2	30,0	850	32.243	173,0	186,0	181,6	178,3
VI.e)	30	32,74	32,5	32,1	876	36.104	170,3	179,2	175,3	170,7
VI.f)	30	35	34,8	34,4	939	38.447	155,6	170,1	167,7	159,8

Tabla X. Se muestra para los casos considerados en VI), cuya cota real es constante e igual a 30 o 30,5m y cuya cota vista inicial vale 30,5m, 32,74m y 35m, la variación en la misma después del primer paso de la simulación y su valor al final de la semana simulada (sem.27). Asimismo se muestra el caudal turbinado promedio (en la semana simulada) en Salto Grande, la energía total generada en Salto Grande en dicha semana y los costos variables promedio de Salto Grande, Bonete y Palmar, así como el costo marginal promedio del sistema. Para los casos VI.a, VI.b y VI.c se encuentra disponible toda la importación, mientras que para los casos VI.d, VI.e y VI.f solo se encuentra disponible la importación de gasoil desde Argentina. Nota: En todos los casos, el caudal aportado promedio semanal, es de 713 m³/s

Se busca analizar, al igual que en el caso V anterior, el efecto que produce para un país mantener agua embalsada con una cota vista alta, frente a usar dicha agua y ceder capacidad de embalse al otro país, en caso de escasez real del recurso.

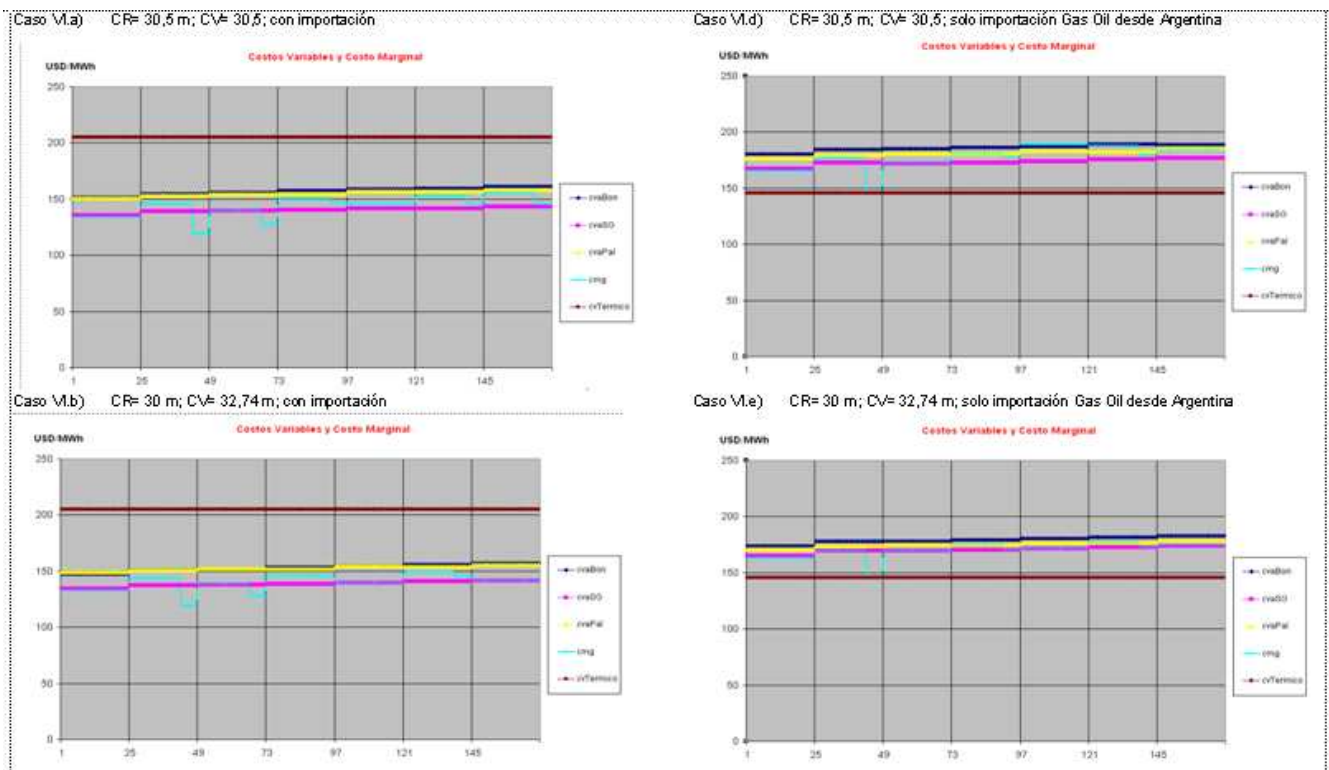
Se observa que el valor del agua de Salto Grande disminuye a medida que la cota vista inicial aumenta, si bien la cota real se encuentra prácticamente en su mínimo. El sistema reconoce su posibilidad de generar a medida que los aportes aumenten y la cota real comience a subir.

Se puede observar que existe diferencia en el despacho de Salto Grande en los casos extremos (cota vista 30.5m y 35m). En el segundo caso, con una cota vista alta, se despacha Salto Grande en mayor medida, y se usan las CTRs solo un día, mientras que en el primer caso se sustituye parte de esa generación por las CTR y algo de Rio Negro, economizándose más el agua de Salto Grande. En este caso la cota real es baja (30m) y se observa que incluso cuando la cota vista es alta y se despacha más Salto Grande, se despacha mucho menos que cuando la cota real es también alta (caso V.c ya analizado), ya que se encuentra limitado a los aportes que ingresan al embalse.

Respecto a los casos anteriores, los casos V), donde la cota real es prácticamente máxima (por lo tanto se cuenta con agua en el embalse) y se va variando la cota vista inicial, no se observan grandes variaciones en el costo variable de Salto Grande.

Por ejemplo, para el caso V.a) (Cota real = 35m; Cota vista= 30.5m; con importación); si se lo compara con el caso VI.a) (Cota real = 30.5m; Cota vista = 30.5 m; con importación), el costo variable de Salto Grande varía de 136.6 USD/MWh a 140 USD/MWh. Lo cual no parecería una gran variación si se toma en cuenta que en el primer caso, la cota real está prácticamente en su máximo y el coeficiente energético de la represa está próximo a su máximo.

A continuación se muestran en la Fig.18 los valores del agua de Bonete, Salto Grande y Palmar, el costo marginal del sistema, y el costo variable térmico, de los distintos casos VI considerados (en todos los casos la cota real es 30m o 30,5m y la cota vista inicial varía). En los tres primeros casos el costo marginal del sistema no se ve afectado por el costo de importación, pues ésta tiene un mínimo impuesto. El mismo viene dado por el agua, excepto en algunos casos en horas de valle (poste 4) donde viene dado por alguna máquina térmica.



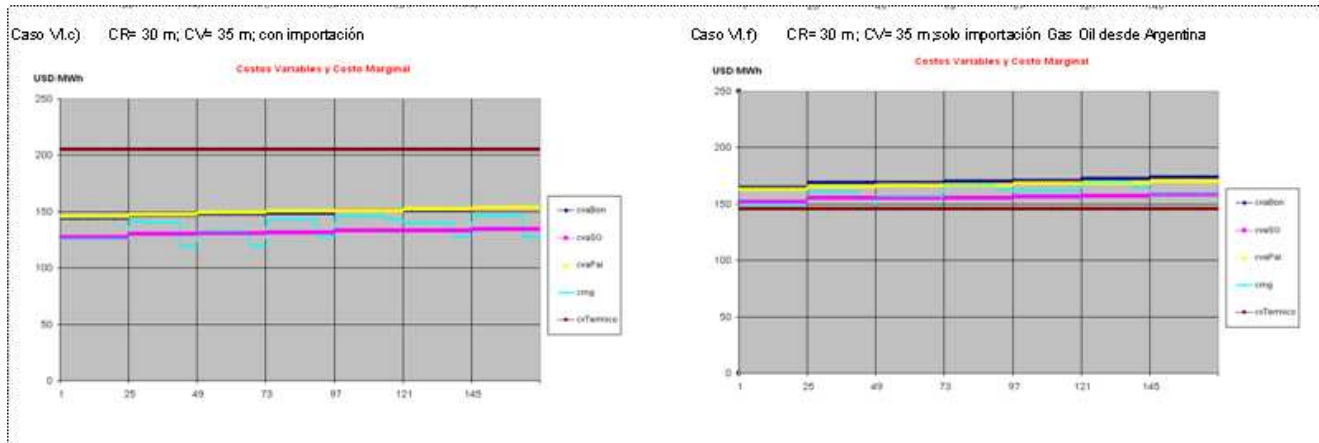


Figura 18. Se grafican los costos variables hidráulicos asociados al valor del agua de las tres centrales hidroeléctricas con embalse (Bonete en azul, Salto Grande en fucsia y Palmar en amarillo), así como el costo marginal del sistema (celeste) y el costo variable térmico (marrón). En el eje de las abscisas se representan las horas correspondientes a la primer semana de la simulación. El costo marginal está representado por postes, de duración 1, 4, 13 y 6 horas respectivamente. Los restantes costos están representados por paso (diario). La importación se encuentra disponible en su totalidad en los casos VI.a, VI.b y VI.c, mostrados a la izquierda de la figura, mientras que en los casos VI.d, VI.e y VI.f solo se encuentra disponible la importación gasoil de Argentina (se muestran en la parte derecha de la figura). Se representan de arriba abajo en la figura por orden creciente de cota vista inicial.

A los efectos de una mejor comparación “a simple vista”, las imágenes anteriores se ajustaron a una misma escala. Debido a la mala visualización de las mismas, se muestra ampliado en la Fig.19 el caso VI.a) de forma de poder visualizar mejor los valores obtenidos.

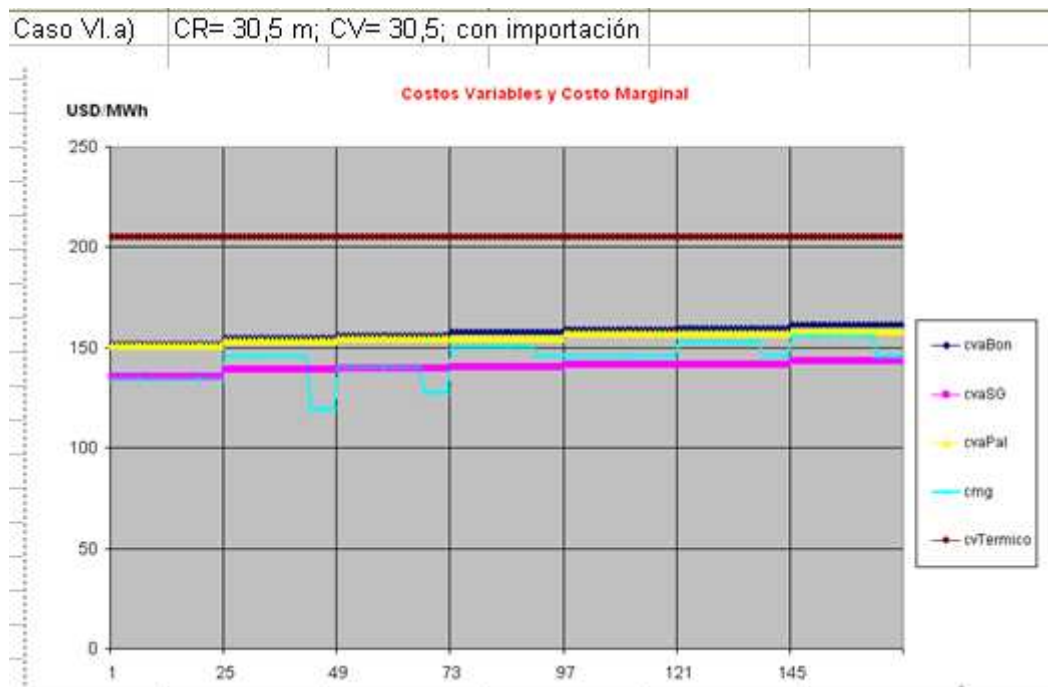


Figura 19. Amplificación de lo mostrado en la Fig.18 para el caso VI.a).

Se observa que la valorización del agua nuevamente es algo mayor en los casos de cota vista baja, para todas las represas. El valor del agua de Salto Grande resulta siempre más bajo que el resto de las represas. Se observa nuevamente una diferencia del orden de los 30 USD/MWh entre el valor del agua con toda la importación disponible (casos mostrados a la izquierda en la Fig.18), y el valor del agua con menos importación disponible (casos mostrados en la parte derecha de la Fig.18).

A continuación se muestran en la Fig.20 el uso que se le da a la represa de Salto Grande en la primera semana.

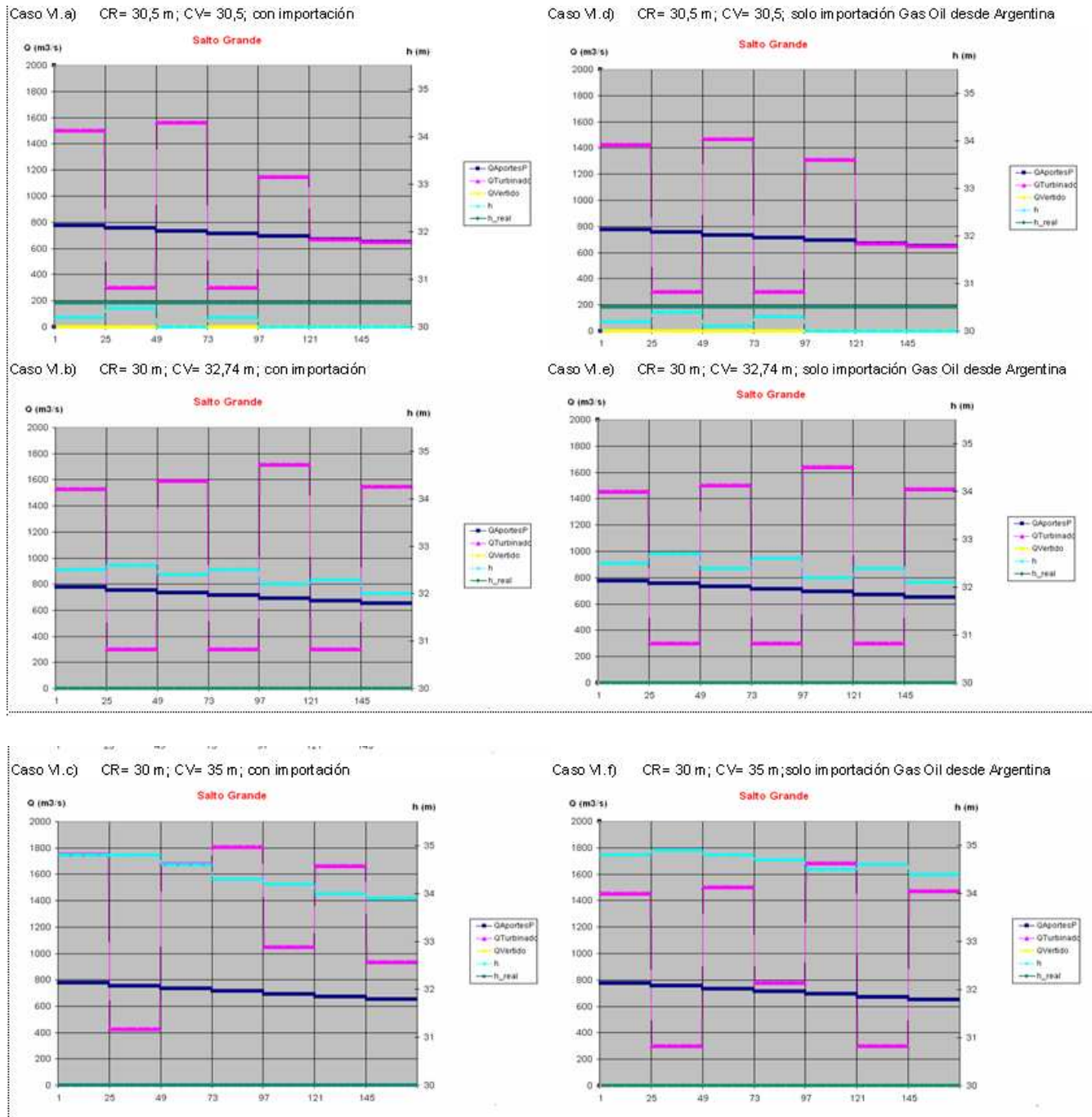


Figura 20. Se grafican distintos parámetros asociados a la operación de la represa de Salto Grande. En azul se muestra el caudal de aportes, en fucsia el caudal turbinado, en amarillo el caudal vertido, en celeste la cota vista y en verde la cota real. En el eje de las abscisas se representan las horas

correspondientes a la primer semana de la simulación. En el eje izquierdo de ordenadas los valores correspondientes a los caudales, y en el eje derecho los referentes a alturas. Los valores se encuentran representados por paso (diario). En la parte izquierda de la figura se representan los casos con importación disponible de Brasil, y en la parte derecha sin esa importación, con solamente la importación de gasoil de Argentina disponible. Se representan de arriba abajo en la figura por orden creciente de cota vista inicial.

Se muestra ampliado en la Fig.21 el caso VI.a) de forma de poder visualizar mejor los valores obtenidos.

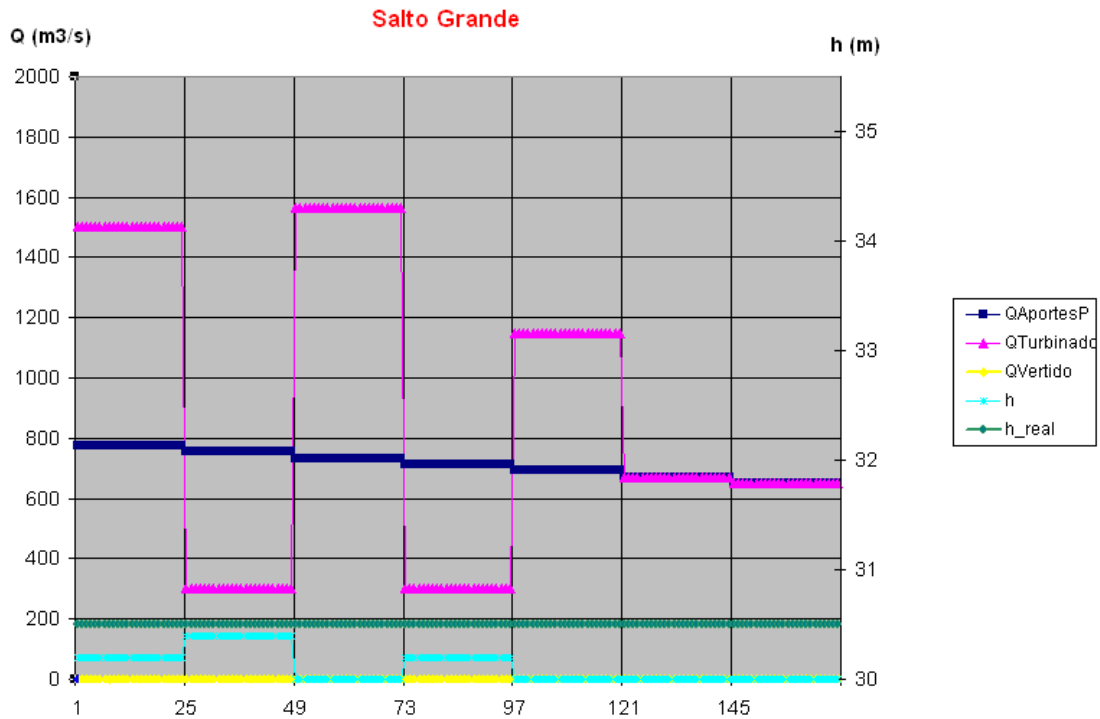


Figura 21. Amplificación de lo mostrado en la Fig.20 para el caso VI.a).

A continuación se muestra gráficamente en la Fig.22, para cada caso analizado en VI, con qué recurso se satisface la demanda, esto es, se muestra el despacho correspondiente a la primera semana de la simulación.

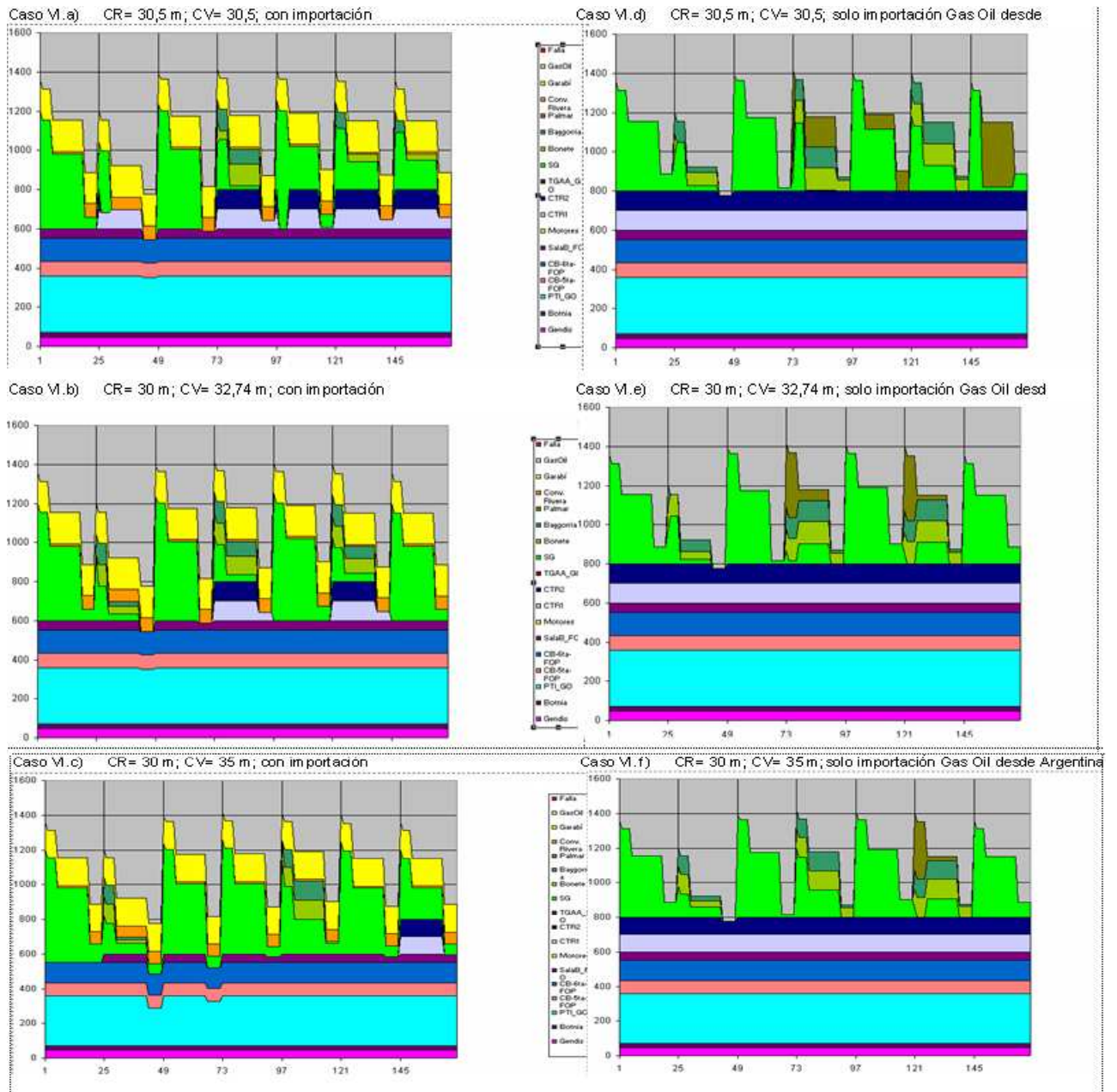


Figura 22. Se muestra el despacho obtenido para la primera semana para los seis casos considerados en VI), cuya cota real se mantiene constante en 30m o 30,5m y cuya cota vista inicial varía desde 30,5 hasta 35m. En el eje de las abscisas se representan las horas de la semana, y en las ordenadas el acumulado de la potencia generada (MW) por cada recurso del sistema a los efectos de satisfacer la demanda. Esta se representó por medio de 4 postes horarios monótonos, de duración 1, 4, 13 y 6 horas respectivamente. A la derecha se muestra el código de colores correspondiente a cada recurso disponible del sistema. La importación se encuentra disponible en su totalidad en los casos V.a, V.b y V.c, mostrados a la izquierda de la figura, mientras que en los casos V.d, V.e y V.f solo se encuentra disponible la importación gasoil de Argentina (se muestran en la parte derecha de la figura).

Se muestra ampliado en la Fig.23 el caso VI.a) de forma de poder visualizar mejor los valores obtenidos.

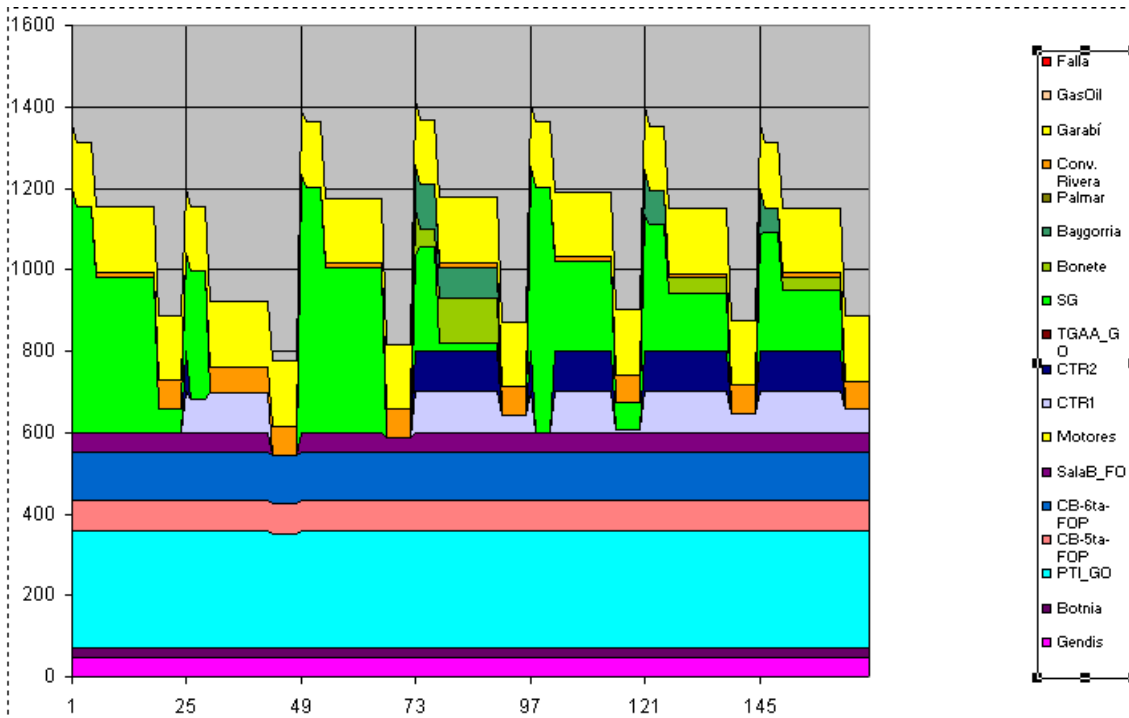


Figura 23. Amplificación de lo mostrado en la Fig.22 para el casoV I.a).

Para los casos considerados en el punto VII).

El resumen con los resultados de los casos con igual cota vista inicial y diferentes cotas reales constantes (30, 32, 32.74, 34.5 y 35m), así como el caso 0 donde no se utiliza el manejo de cota real, se muestra en la Tabla XI.

Con importación de Brasil										
caso	cota real (m)	cota vista (m)	cota vista 1er paso(m)	cota vista final (m)	Qturbinado promedio SG (m3/s)	Energía generada SG (MWh)	c.var. SG (USD/MWh)	c.var. Bonete (USD/MWh)	c.var. Palmar (USD/MWh)	Costo marginal (USD/MWh)
7)	30	32.74	32.5	32.0	876	37,770	138.6	153.1	152.8	140.5
3)	32	32.74	32.5	32.0	1,065	40,592	137.5	151.7	151.7	137.9
1)	32.74	32.74	32.50	32.0	1,434	41,075	136.4	151.0	151.1	139.2
2)	34.5	32.74	32.6	31.9	1,028	44,817	135.7	150.3	150.2	136.7
8)	35	32.74	32.6	31.4	1,042	53,513	134.2	150.0	149.8	138.5
0)	vista	32.74	32.9	33.6	300	12,353	153.0	153.4	150.8	146.0

Tabla XI. Se muestra para los casos considerados en VII), cuya cota vista inicial vale siempre 32,74m, para diferentes valores de cota real constante, así como el caso 0, donde la cota real sigue a la vista en todo momento, la variación en la cota vista después del primer paso de la simulación y su valor al final de la semana simulada (sem.27). Asimismo se muestra el caudal turbinado promedio (en la semana simulada) en Salto Grande, la energía total generada en Salto Grande en dicha semana y los costos variables promedio de Salto Grande, Bonete y Palmar, así como el costo marginal promedio del sistema. En todos los casos considerados en VII se encuentra disponible toda la importación. Nota: En todos los casos, el caudal aportado promedio semanal, es de 713 m³/s

A continuación se muestra en la Fig. 24 los dos casos extremos de cota real considerados, esto es, cota real en su mínimo operativo (30m, caso 7) y cota real en su máximo y próxima al vertimiento (35m, caso 8).

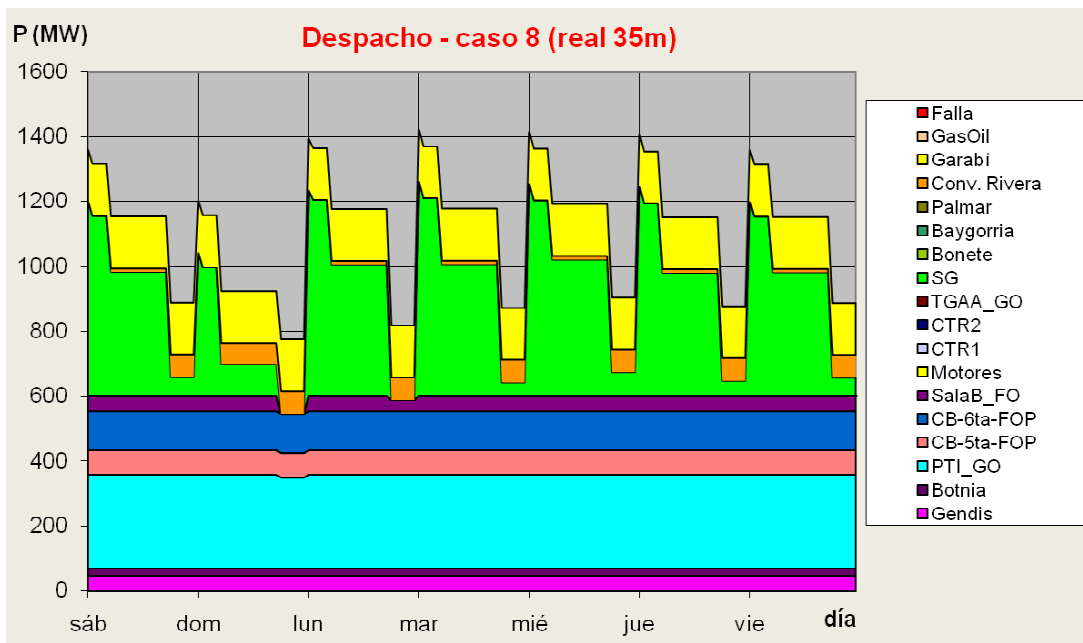
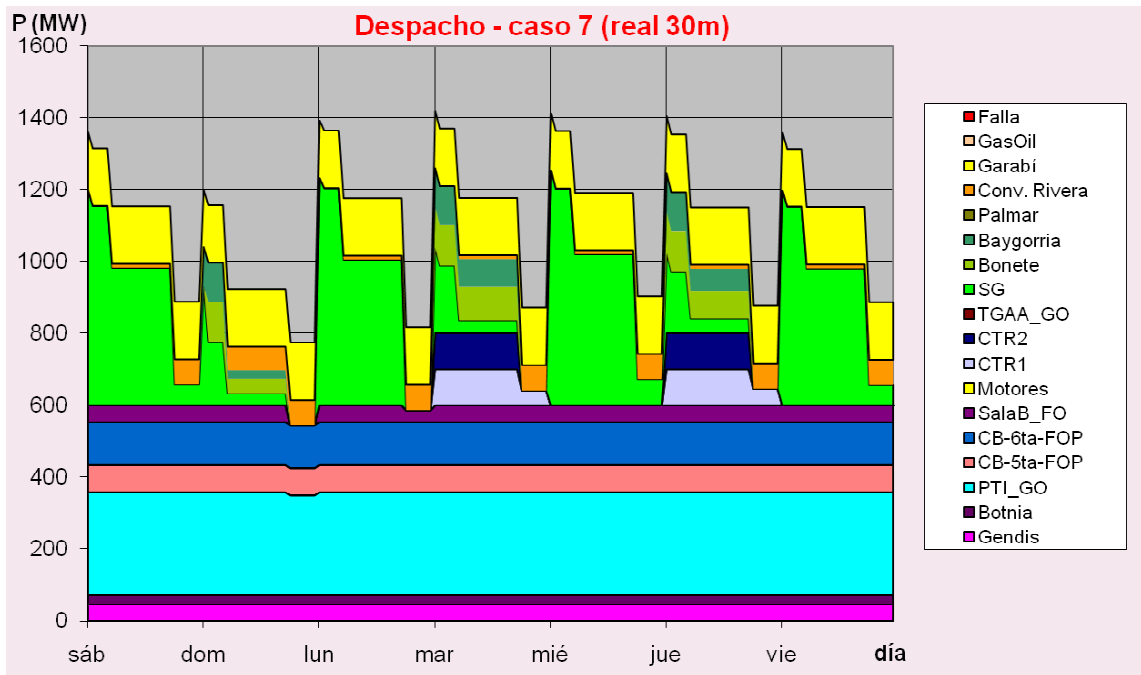


Figura 24. Se muestra el despacho obtenido para la primer semana para los dos casos extremos de los cinco casos considerados en VII), cuya cota real se mantiene constante en 30m y 35m respectivamente. La cota vista inicial en ambos casos es 32,74m (correspondiente a la sem.27 de 2009). En el eje de las abscisas se representan los días de la semana, y en las ordenadas el acumulado de la potencia generada (MW) por cada recurso del sistema a los efectos de satisfacer la demanda. Esta se representó por medio de 4 postes horarios monótonos, de duración 1, 4, 13 y 6 horas respectivamente. A la derecha se muestra el código de colores correspondiente a cada recurso disponible del sistema. La importación se encuentra disponible en su totalidad, con un mínimo impuesto de 160 MW por la Conversora de Garabí (amarillo) y de 70 MW por la Conversora de Rivera (naranja) para horas de valle y domingos.

Se puede observar la notoria diferencia en el despacho de Salto Grande en los dos casos mostrados en la Fig.24 (casos extremos, cota real 30m y 35m respectivamente). En el

segundo caso (8), con una cota real próxima al vertimiento, se despacha Salto Grande a pleno, mientras que en el primer caso (7) se sustituye parte de esa generación por el despacho del Río Negro y las CTR, economizándose el agua de Salto Grande. En ambos casos la cota vista inicial es la misma (32,74m).

En los casos intermedios (3, 1 y 2) se observa que se va sustituyendo paulatinamente la generación del Río Negro por Salto Grande, hasta que finalmente se sustituyen también ambas CTRs por Salto Grande.

Si comparamos el despacho con el caso 0 (mostrado en la Fig.25), esto es, cuando no se utiliza la funcionalidad de Manejo de Cota Real del SimSEE, se observa un despacho marcadamente diferente respecto de los anteriores, puesto que el SimSEE considera que ambas cotas (vista y real) se encuentran inicialmente en 32,74m, siendo además coincidentes en todo momento, y que el despacho que se realice afecta no solo la cota vista, sino también la cota real (siempre igual a la vista en esta modalidad), por lo cual decide economizar el agua, dado que valoriza más el hecho de poder subir la cota real y mejorar así el coeficiente energético.

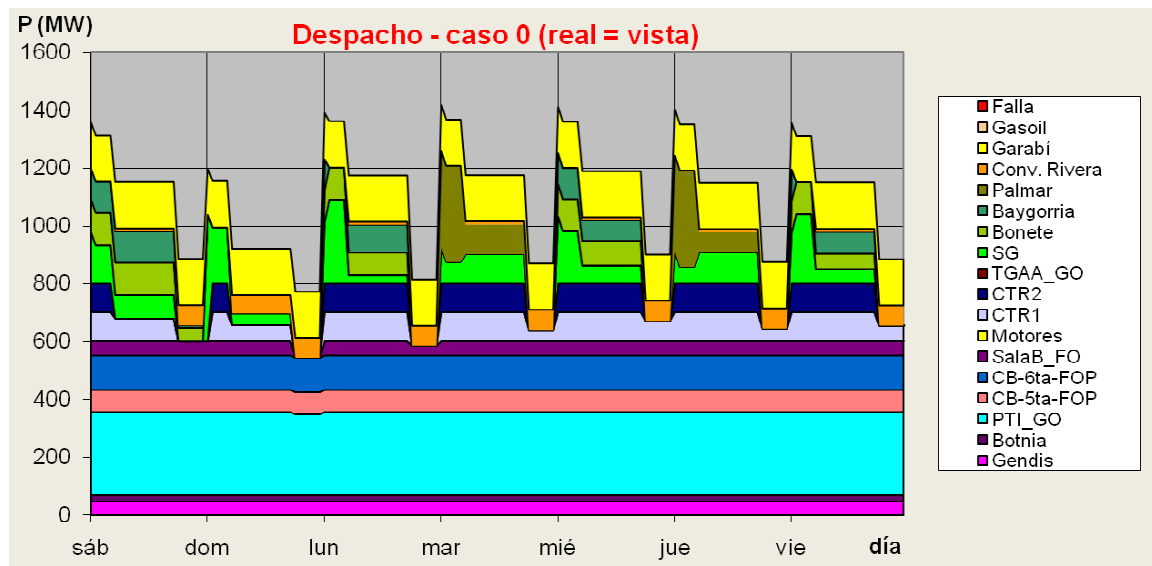


Figura 25. Se muestra el despacho obtenido para la primera semana para el caso en el cual no se utiliza la funcionalidad Manejo de Cota Real, que llamamos caso 0 o “control”. La cota vista inicial es 32,74m, al igual que los demás casos considerados en VII. En el eje de las abscisas se representan los días de la semana, y en las ordenadas el acumulado de la potencia generada (MW) por cada recurso del sistema a los efectos de satisfacer la demanda. Esta se representó por medio de 4 postes horarios monótonos, de duración 1, 4, 13 y 6 horas respectivamente. A la derecha se muestra el código de colores correspondiente a cada recurso disponible del sistema. La importación se encuentra disponible en su totalidad, con un mínimo impuesto de 160 MW por la Convertora de Garabí (amarillo) y de 70 MW por la Convertora de Rivera (naranja) para horas de valle y domingos.

Se muestran en la Fig.26 los valores del agua de Bonete, Salto Grande y Palmar, el costo marginal del sistema, y el costo variable térmico, de los casos extremos de cota real antes mencionados (en ambos la cota vista inicial es 32,74m). En ningún caso el costo marginal del sistema se ve afectado por el costo de importación, pues ésta tiene un mínimo impuesto. El mismo viene dado por el agua, excepto en algunos casos en horas de valle (poste 4) donde viene dado por alguna máquina térmica.

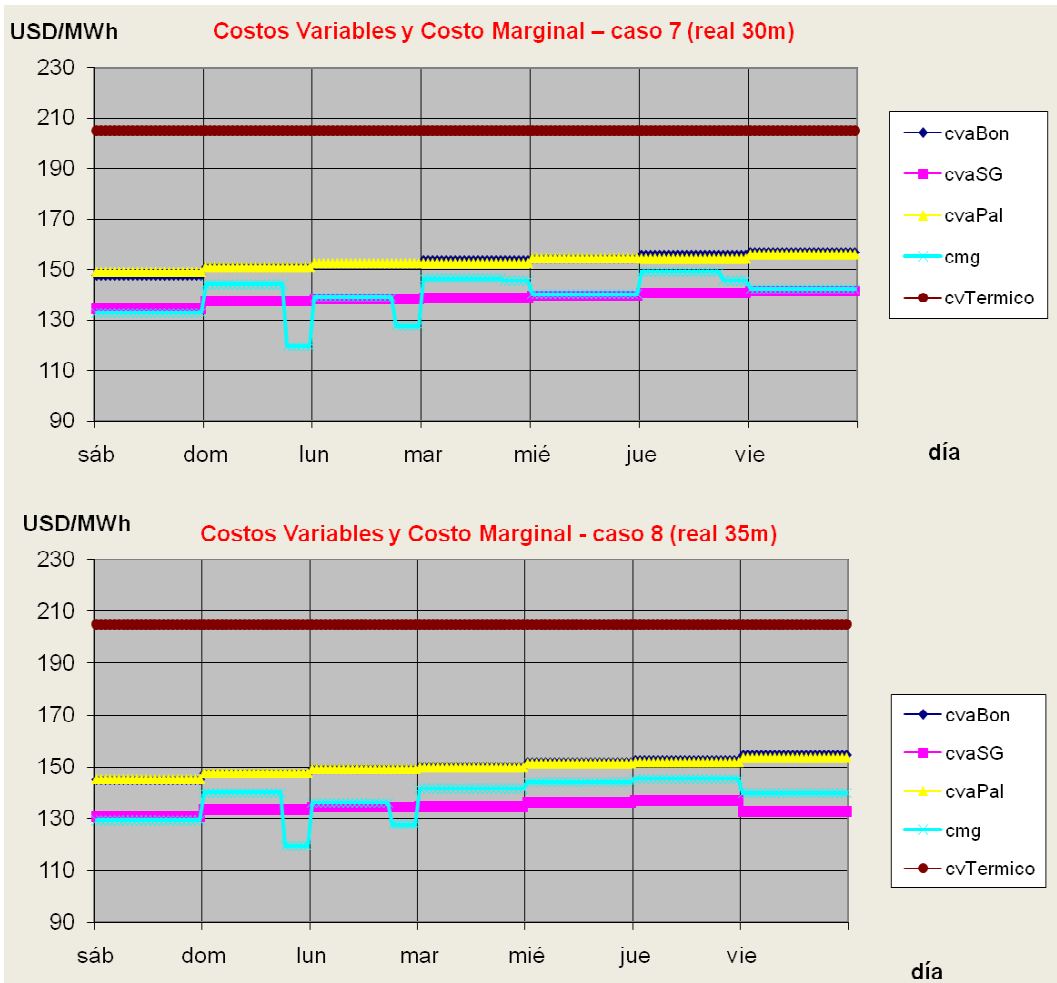


Figura 26. Se grafican los costos variables hidráulicos asociados al valor del agua de las tres centrales hidroeléctricas con embalse (Bonete en azul, Salto Grande en fucsia y Palmar en amarillo), así como el costo marginal del sistema (celeste) y el costo variable térmico (marrón). En el eje de las abscisas se representan los días correspondientes a la primer semana de la simulación. El costo marginal está representado por postes, de duración 1, 4, 13 y 6 horas respectivamente. Los restantes costos están representados por paso (diario). La importación se encuentra disponible en su totalidad en todos los casos, con un mínimo impuesto. Se representa en la parte superior de la figura el caso de cota real 30m y en la parte inferior el caso de cota real 35m.

No se observa una diferencia remarcable entre el valor del agua en Salto Grande, ni en las demás represas, en las corridas antes mencionadas, resultando siempre Salto Grande algo más barato y en el entorno de los 130 USD/MWh, mientras que el Río Negro queda en el entorno de los 150 USD/MWh. Esto es así porque al asumir una cota real constante (sea que se asuma en su extremo inferior o superior), el despacho que se realice no afecta la cota real (impuesta como fuente externa), por lo cual dicha agua pierde valor, y se valoriza más embalsar agua en Bonete y/o Palmar.

Nuevamente, si comparamos con el caso 0 (mostrado en la Fig.27), se observa que los valores cambian, pues si bien la cota vista inicial también es 32,74m, al igual que en los casos anteriores, pero ahora el SimSEE considera que ambas cotas son coincidentes en todo momento. Se observa aquí que el valor del agua en Salto Grande es mayor, y supera en algunos casos al Río Negro. Esto es coherente con el mayor despacho de Río Negro observado y con el hecho de que valoriza más el agua de Salto, pues el uso de

ésta afectará la cota real, bajándola, por lo cual disminuirá su valor energético, así como el de los aportes que llegan, situación que no es deseable.

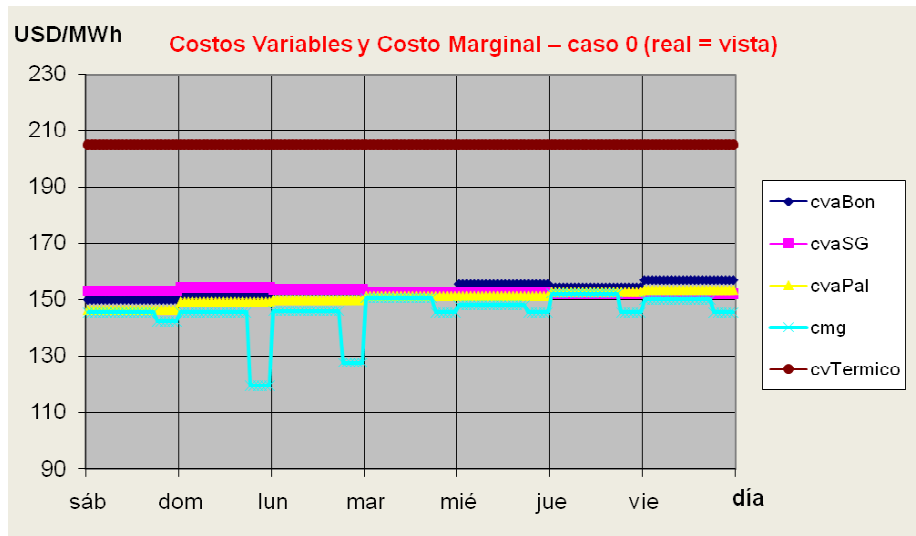


Figura 27. Se grafican los costos variables hidráulicos asociados al valor del agua de las tres centrales hidroeléctricas con embalse (Bonete en azul, Salto Grande en fucsia y Palmar en amarillo), así como el costo marginal del sistema (celeste) y el costo variable térmico (marrón) para el caso en el cual no se utiliza la funcionalidad Manejo de Cota Real, que llamamos caso 0 o “control”. La cota vista inicial es 32,74m, al igual que los demás casos considerados en VII. En el eje de las abscisas se representan los días correspondientes a la primera semana de la simulación. El costo marginal está representado por postes, de duración 1, 4, 13 y 6 horas respectivamente. Los restantes costos están representados por paso (diario). La importación se encuentra disponible en su totalidad, con un mínimo impuesto.

Se observa entonces, que estando en libertad de hacerlo, esto es, sin cota real impuesta externamente, el SimSEE valoriza la posibilidad de acumular agua en Salto Grande, pues el no uso de la misma se verá directamente reflejado en un aumento de la cota real, lo cual implica una valorización energética del agua y de los aportes que lleguen, esto es, una mejora en el coeficiente energético de Salto Grande.

Se observa en la gráfica de la Fig.28 que la cota vista (la real coincide con ésta) sube del valor inicial dado de 32,74m a un valor a finales de la semana de 33,6m.

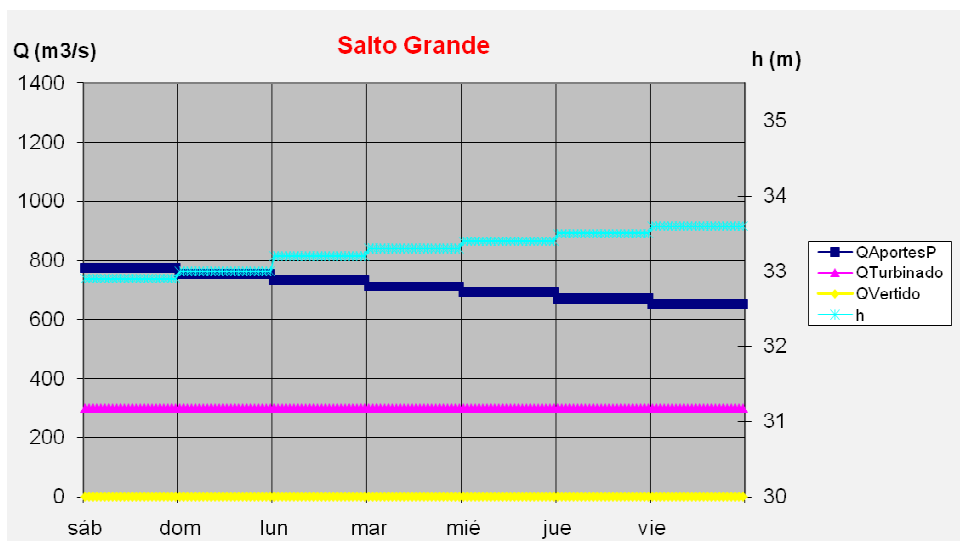


Figura 28. Se grafican distintos parámetros asociados a la operación de la represa de Salto Grande para el caso en el cual no se utiliza la funcionalidad Manejo de Cota Real, que llamamos caso 0 o “control”. La cota vista inicial es 32,74m, al igual que los demás casos considerados en VII. En azul se muestra el caudal de aportes, en fucsia el caudal turbinado, en amarillo el caudal vertido, y en celeste la cota vista (que en este caso coincide con la cota real). En el eje de las abscisas se representan los días correspondientes a la primer semana de la simulación. En el eje izquierdo de ordenadas los valores correspondientes a los caudales, y en el eje derecho los referentes a alturas. Los valores se encuentran representados por paso (diario).

En las siguientes gráficas se resumen los resultados obtenidos para la Energía despachada diaria de Salto Grande (Fig.29), y su valor del agua (Fig.30), para los casos considerados en VII: 7, 3, 1, 2, 8, 0 que corresponden todos a una cota vista inicial de 32,74m, y a una cota real constante de 30, 32, 32.74, 34.5 y 35m respectivamente, a excepción del caso 0 que corresponde a cota real igual a cota vista.

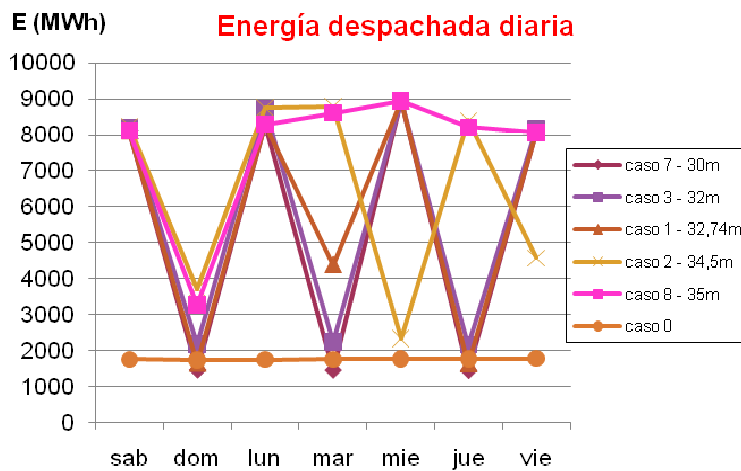


Figura 29. Se muestra la Energía despachada diaria por la represa de Salto Grande para la primer semana de la simulación, para los distintos casos considerados en VII, esto es, con igual cota vista inicial (32,74m) y diferentes cotas reales constantes, que cubren todo el rango de operación del embalse (desde 30m hasta 35m). Asimismo se muestra el caso 0 o “control”, en el que no se utiliza la funcionalidad Manejo de Cota Real. Se observa que en este último caso la energía despachada es mínima, y viene dada por el caudal mínimo que se impone turbinar a los efectos de asegurar la navegabilidad aguas abajo del río Uruguay.

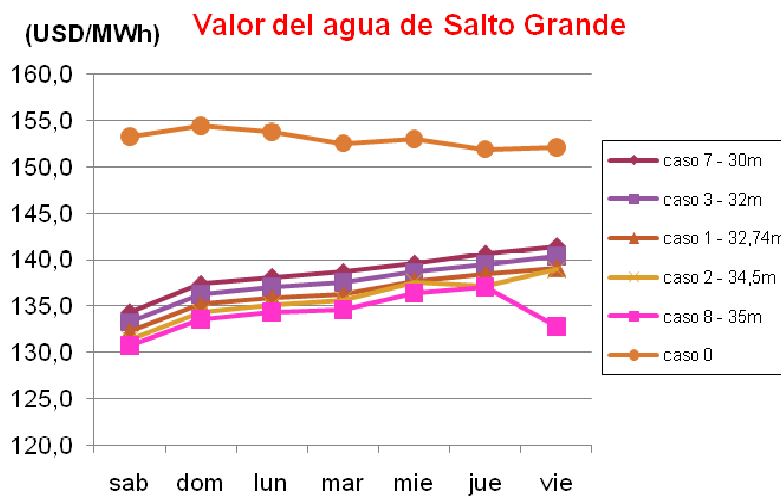


Figura 30. Se muestra el valor del agua de la represa de Salto Grande para la primer semana de la simulación, para los distintos casos considerados en VII, esto es, con igual cota vista inicial (32,74m) y diferentes cotas reales constantes, que cubren todo el rango de operación del embalse (desde 30m hasta 35m). Asimismo se muestra el caso 0 o “control”, en el que no se utiliza la funcionalidad Manejo de

Cota Real. Se observa que en este último caso el valor del agua es marcadamente mayor que en el resto de los casos, reflejando el beneficio que se obtiene por el no uso de la misma, embalsándola a los efectos de ganar altura y mejorar el coeficiente energético de la represa.

Se observa claramente que la máxima energía despachada se tiene en el caso 8, que corresponde al caso de cota real 35m constante, donde la proximidad del vertimiento hace que se utilice Salto Grande en mayor medida, y la mínima energía despachada se tiene en el caso 0, donde ésta viene dada exclusivamente por el caudal mínimo que se impone turbinar a los efectos de asegurar la navegabilidad aguas abajo del río Uruguay (ver Tabla XI).

Asimismo el valor de agua más alto para Salto Grande se da para el caso 0, notoriamente superior al resto, y el mínimo para el caso 8, donde el hecho de encontrarse próximo al vertimiento, desvaloriza el agua. Ello muestra claramente la importancia de poder influir sobre la cota real en base a la decisión de ahorrar o no el agua, decisión que solo se tiene en el caso 0, ya que en los demás casos la cota se impone constante, como una fuente externa sobre la cual una decisión de ahorro o no de agua no puede influir. El mayor valor del agua en el caso 0 refleja el beneficio que se obtiene por el no uso de la misma, embalsándola a los efectos de ganar altura y mejorar así el coeficiente energético de la represa.

Se muestra a continuación en la Fig.31 el cálculo del coeficiente energético para Salto Grande, el cual tal como era de esperar resulta máximo para el caso 8, donde el agua es turbinada desde una mayor altura, y mínimo para el caso 7, donde se turbinada desde la base del embalse. Dicho coeficiente se calcula para Salto Grande como la energía diaria dividido el caudal turbinado medio.

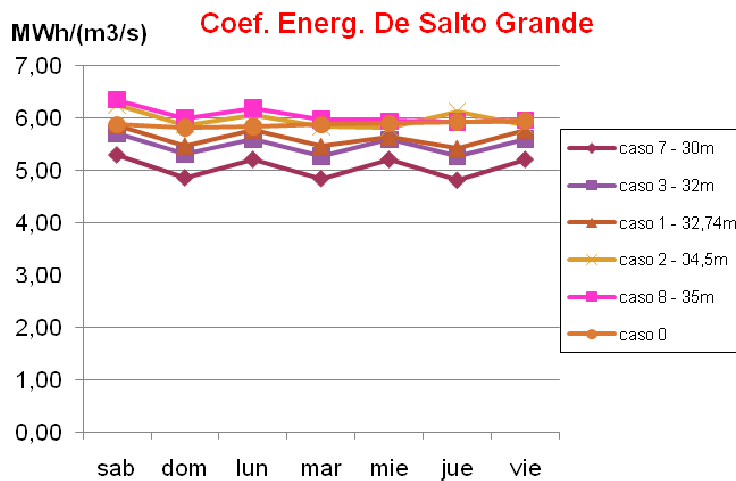


Figura 31. Se muestra el valor del coeficiente energético para la represa de Salto Grande para la primer semana de la simulación, para los distintos casos considerados en VII, esto es, con igual cota vista inicial (32,74m) y diferentes cotas reales constantes, que cubren todo el rango de operación del embalse (desde 30m hasta 35m). Asimismo se muestra el caso 0 o “control”, en el que no se utiliza la funcionalidad Manejo de Cota Real y para el cual la cota real varía entre 32,74m y 33,6m en la semana considerada. Se observa que en el mayor coeficiente energético se obtiene para las mayores alturas de embalse. Se observa una diferencia del 20% entre el coeficiente energético para 30m y el correspondiente en 35m.

Se observa de la Fig. 31 que el coeficiente energético varía dentro de una franja relativamente estrecha en cada caso considerado, oscilando alrededor del equilibrio, dado que en cada paso el SimSEE busca optimizar el despacho en base a dicho coeficiente, lo que lo afectará levemente en el paso siguiente. El coeficiente energético

siempre es claramente menor para el caso 7, donde la cota del embalse es menor (30m) y por lo tanto la diferencia en el salto del agua (respecto a la cota de descarga) será también menor. El mayor coeficiente energético se tiene, como era de esperar, para el caso 8, con la mayor cota de embalse (35m). La diferencia observada es del orden del 20%, valor nada despreciable.

En la Fig.32 se muestra el correspondiente caudal turbinado en Salto Grande, correspondiente a la operación en la primer semana de la simulación. Esta figura es análoga a la Fig.29, donde se mostraba la energía despachada diaria correspondiente.

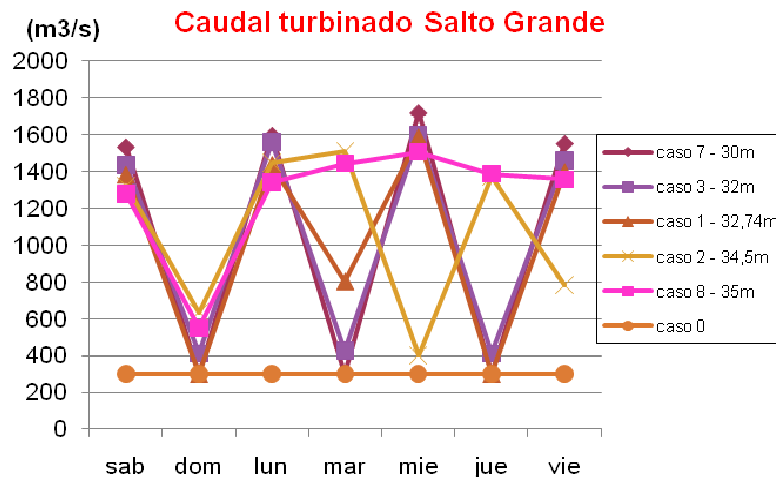


Figura 32. Se muestra el valor del caudal turbinado por la represa de Salto Grande para la primer semana de la simulación, para los distintos casos considerados en VII, esto es, con igual cota vista inicial (32,74m) y diferentes cotas reales constantes, que cubren todo el rango de operación del embalse (desde 30m hasta 35m). Asimismo se muestra el caso 0 o “control”, en el que no se utiliza la funcionalidad Manejo de Cota Real y para el cual la cota real varía entre 32,74m y 33,6m en la semana considerada. Se observa que en el mayor caudal turbinado se obtiene para el caso 8, en situación próxima al vertimiento, mientras que el menor viene dado por el caudal mínimo que se impone turbinar a los efectos de asegurar la navegabilidad aguas abajo del río Uruguay (300 m³/s).

Asimismo se muestra en las figuras siguientes (Fig.33 y Fig.34) el valor del agua de Bonete y el valor del agua de Palmar, observándose que resultan ambos mínimos en el caso 8, cuando el embalse de Salto Grande se mantiene totalmente lleno en forma forzada (con una cota de 35m impuesta), lo cual hace que exista abundancia del recurso agua, y máximos en el caso 7 cuando el embalse de Salto Grande se encuentra vacío, correspondiendo a la situación opuesta, de carencia del recurso.

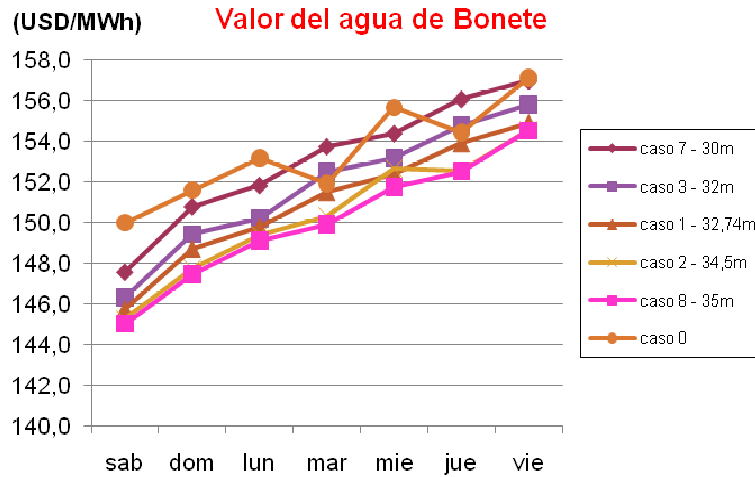


Figura 33. Se muestra el valor del agua de la represa de Rincón del Bonete (Dr.G.Terra) para la primera semana de la simulación, para los distintos casos considerados en VII, esto es, con igual cota vista inicial (32,74m) y diferentes cotas reales constantes, que cubren todo el rango de operación del embalse (desde 30m hasta 35m). Asimismo se muestra el caso 0 o “control”, en el que no se utiliza la funcionalidad Manejo de Cota Real.

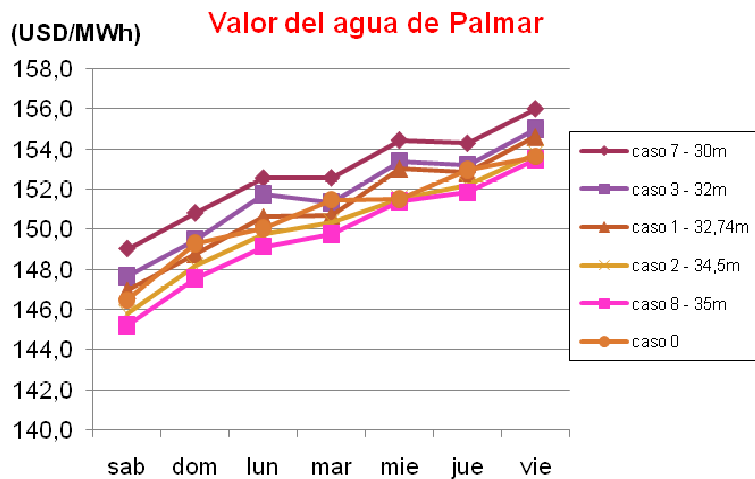


Figura 34. Se muestra el valor del agua de la represa de Palmar (Constitución) para la primera semana de la simulación, para los distintos casos considerados en VII, esto es, con igual cota vista inicial (32,74m) y diferentes cotas reales constantes, que cubren todo el rango de operación del embalse (desde 30m hasta 35m). Asimismo se muestra el caso 0 o “control”, en el que no se utiliza la funcionalidad Manejo de Cota Real.

Se observa que los valores del agua son mínimos al iniciar la semana y van creciendo en todos los casos, para las tres represas, debido a la influencia de la estación del año sobre los mismos, esto es, el efecto de adentrarse en el invierno (semana 27 considerada para la simulación) hace que el agua incremente su valor, luego de haber alcanzado un mínimo, a principios del invierno, cuando no tiene sentido embalsar agua, sino que se promueve su uso, para una demanda entonces creciente.

4 Conclusiones

Se muestra a continuación en la Tabla XII un resumen de los resultados obtenidos para la primer semana de la simulación realizada (semana 27), para los 10 casos considerados originalmente, incluyendo el caso 0 “control”, para los cuales se tiene importación disponible de Brasil (con un mínimo impuesto).

caso	Cota Real (m)	Cota vista inicial (m)	Cota vista final (m)	QAportes promedio (m3/s)	QTurbinado promedio (m3/s)	Energía generada (MWh)	Valor del agua de S.Grande promedio (USD/MWh)
0)	sigue a la vista	32,74	33,6	713	300	12.353	153,0
1)	32,74	32,74	32,0	713	1.028	41.075	136,4
2)	34,5	32,74	31,9	713	1.065	44.817	135,7
3)	32	32,74	32,0	713	1.042	40.592	137,5
4)	34,4 - 32,8	32,74	31,7	713	1.176	48.112	135,8
5)	30	35	33,9	713	1.331	46.562	131,4
6)	35	30,5	30,0	713	876	37.727	136,6
7)	30	32,74	32,0	713	1.042	37.770	138,6
8)	35	32,74	31,4	713	1.264	53.513	134,2
9)	30,5	30,5	30,0	713	876	32.269	140
10)	35	35	33,7	713	1.434	61.055	125,7

Tabla XII. Se muestra para la totalidad de los casos analizados bajo las hipótesis de importación disponible en su totalidad, las cotas real y vista iniciales correspondientes, la cota vista resultante al final de la simulación semanal (correspondiente a sem.27), el caudal promedio correspondiente a los aportes considerados, el caudal turbinado promedio en Salto Grande en la semana simulada, la energía total generada en Salto Grande en dicha semana y los costos variables promedio asociados al valor del agua correspondientes a Salto Grande. Se asumió que se encuentra disponible la importación desde Brasil, con un mínimo impuesto de 160 MW por la Conversora de Garabí y 70 MW por la Conversora de Rivera.

Una primer conclusión que se desprende en forma inmediata, es que la disminución de la cota real del embalse resulta perjudicial, dado que ello trae aparejada una “degradación” energética del agua a turbinar, ocasionada por la pérdida de energía potencial al perder altura. Se observa claramente, en particular observando los casos 3 y 7, donde se tiene el mismo caudal turbinado, y la misma cota vista inicial, que a mayor cota real (en este caso, una diferencia de solo 2m en el fondo del embalse), se obtiene mayor energía, siendo en este caso particular la diferencia obtenida en la semana de 2.822 MWh. Asimismo observando el caso 1, se tiene que para una cota real aún algo mayor, y en este caso con un caudal turbinado levemente menor a los casos 3 y 7, se obtiene una energía en la semana del orden de 0,5 GWh superior al caso 3 (con cota 74cm inferior). De la Fig.31 se tiene que para una misma cota vista, el hecho que la cota real sea 35m en lugar de 30m implica una diferencia del 20% en el coeficiente energético, en los casos analizados.

Resulta interesante realizar un simple cálculo en base al ejemplo dado por los casos 3 y 7 mencionados, observando que para la semana considerada en la simulación (168 horas) la diferencia de energía equivale a 16,8 MW de potencia instalada. Se concluye entonces que la energía generada con una diferencia de tan solo 2m de altura de agua, aún considerando estos 2m en la parte inferior del embalse, con el mismo caudal turbinado, es equivalente (y algo superior) a la generación que se obtendría de la turbina de Maldonado (TGAA, 15 MW), con el elevado costo de generación que la misma implica (201,1 USD/MWh considerados en el presente estudio). Considerando dicha diferencia de 2.822 MWh que se tendrían solo por tener el agua embalsada 2m más arriba en el lago (32m en lugar de 30m), si consideramos que estos tuvieran que generarse con la TGAA, daría un total de 567.504 USD que se perderían solo considerando la primer semana simulada.

Asimismo de la Tabla XII (casos 6, 8 y 10) se observa que ante un aumento de la cota vista, a un mismo valor fijo de la cota real, el valor del agua de Salto resulta menor. Esto se debe a que al aumentar la disponibilidad del recurso, este se valoriza menos.

Por otro lado, cuando se considera que la cota real no es constante y, por lo tanto, no es impuesta en forma externa, sino que asume el valor de la cota vista durante toda la corrida (caso 0 o “control” donde no se utilizó la funcionalidad del SimSEE “Manejo de Cota Real”), se observa que el valor del agua de Salto Grande aumenta sensiblemente respecto a los valores de los demás casos (en los cuales se mantiene entre los 130 y 140 USD/MWh, valor al que llega en el peor caso, 9, donde ambas cotas son bajas). Este es el único caso de los estudiados donde es posible incidir sobre la cota real según la operación que se realice del lago, dado que la cota real no está forzada en un valor, sea este constante (donde se asume que el otro país actúa como una “fuente infinita” que es capaz de mantener la cota constante, cualquiera sea la operación que se realice del lago) o aleatorio dentro de un rango acotados, como es el caso 4. Esta mayor valorización muestra que se da valor a la posibilidad de embalsar el agua, incrementando de esa forma la cota real, la cual le otorgará una mayor valorización energética a dicha agua, así como a los aportes que lleguen. En los restantes casos, al imponerse que la cota real sea constante, el ahorro de agua durante el despacho pierde su efecto, dado que no tiene posibilidad de influir sobre la cota; esto desvaloriza entonces el agua, como una señal de que conviene usarla y no embalsarla.

Otra conclusión importante se obtiene del análisis de la influencia de la importación sobre el valor del agua de Salto Grande, mostrando como el hecho de importar energía de Brasil (con un mínimo forzado, a un precio mayor que el agua, 205 USD/MWh) hace disminuir el valor del agua del orden de 30 USD/MWh en todos los casos analizados, tal como se observa comparando las Tablas XII y XIII. En esta última se muestra un resumen de los resultados obtenidos para la primer semana de la simulación realizada (semana 27), para los 10 casos considerados en la Tabla XII, incluyendo el caso 0 “control”, para los cuales se eliminó la disponibilidad de importación de Brasil.

caso	Cota Real (m)	Cota vista inicial (m)	Cota vista final (m)	QAportes promedio (m3/s)	QTurbinado promedio (m3/s)	Energía generada (MWh)	Valor del agua de S.Grande promedio (USD/MWh)
0)	sigue a la vista	32,74	33,5	713	339	13.948	190,6
1)	32,74	32,74	32,3	713	909	36.663	164,4
2)	34,5	32,74	32,4	713	862	37.019	161,0
3)	32	32,74	32,3	713	931	36.513	166,0
4)	34,4 - 32,8	32,74	32,2	713	939	38.939	159,1
5)	30	35	34,4	713	1.071	38.447	155,6
6)	35	30,5	30,0	713	876	37.736	164,2
7)	30	32,74	32,1	713	996	36.104	170,3
8)	35	32,74	32,4	713	850	37.120	160,1
9)	30,5	30,5	30,0	713	876	32.243	173,0
10)	35	35	34,0	713	1.274	54.282	147,2

Tabla XIII. Se muestra para la totalidad de los casos analizados bajo las hipótesis de importación restringida a disponibilidad de gasoil de Argentina (300 USD/MWh), las cotas real y vista iniciales correspondientes, la cota vista resultante al final de la simulación semanal (correspondiente a sem.27), el caudal promedio correspondiente a los aportes considerados, el caudal turbinado promedio en Salto Grande en la semana simulada, la energía total generada en Salto Grande en dicha semana y los costos variables promedio asociados al valor del agua correspondientes a Salto Grande.

Asimismo el análisis de la influencia del respaldo de potencia (de importación, térmico) sobre el valor del agua de Salto Grande, muestra por un lado como el solo hecho de contar con respaldo (aunque no se use, como en el caso de gasoil Argentina, a 300 USD/MWh) hace disminuir el valor del agua del orden de 30 USD/MWh. Esto se observaba en los casos III) analizados. Se muestran en la Tabla XIV las hipótesis realizadas para esos casos, donde en el caso III.b se eliminaba la disponibilidad de importación de Brasil, en el III.e también se eliminaba la disponibilidad de importación de Argentina, y en el III.d se eliminaba asimismo la disponibilidad de las CTRs.

Caso	Corrida en	Importación?	CTR?	Despacha falla?
III.a	Julio de 2009	Garabí, Rivera y Gas Oil	Si	No
III.b	Julio de 2009	Gas Oil	Si	No
III.c	Enero de 2009	Gas Oil	Si	Si
III.d	Julio de 2009	No	No	Si
III.e	Julio de 2009	No	Si	No

Tabla XIV. Se muestran las hipótesis realizadas para los casos considerados en III.

En la Tabla XV se muestran los resultados que se habían obtenido para dichas hipótesis.

caso	cota real (m)	cota vista (m)	cota vista 1er paso(m)	cota vista final (m)	Qturbinado promedio SG (m3/s)	Energía generada SG (MWh)	c.var. SG (USD/MWh)	c.var. Bonete (USD/MWh)	c.var. Palmar (USD/MWh)	Costo marginal (USD/MWh)
III.a	30.5	30.5	30.2	30.0	1,264	32,269	140	157.1	155.2	144.2
III.b	30.5	30.5	30.2	30.0	850	32,243	173.0	186.0	181.6	178.3
III.c	30.5	30.5	30.6	30.8	591	21,731	261.5	302.3	286.3	223.1
III.d	30.5	30.5	30.6	30.6	686	25,324	358.5	373.4	316.5	350.3
III.e	30.5	30.5	30.2	30.2	809	29,901	200.0	222.2	203.9	202.1

Tabla XV. Se muestran los resultados obtenidos para los casos considerados en III.

Se observa un incremento del orden de los 30 USD/MWh en el valor del agua de Salto Grande, entre los casos III.a y III.b (sin importación de Brasil), y entre los casos III.b y III.e (sin importación de Argentina). En este último caso el incremento se da por el solo hecho de no contar con un respaldo de potencia, aunque este no fuera económico ni fuera un recurso utilizado en el despacho. La diferencia con el caso III.d es aún mucho más significativa, al eliminarse también la disponibilidad de las CTRs y contar el sistema con muy poco respaldo de potencia.

Asimismo se observa en la Fig.35, que representa los valores del agua, costo marginal y costo variable térmico correspondientes al caso III.d, como el valor del agua de Salto Grande se va encareciendo paulatinamente respecto de Palmar y luego de Bonete, dado que en el caso considerado su función como respaldo de potencia para el sistema cobra mayor relevancia, ante la escasez de potencia disponible.

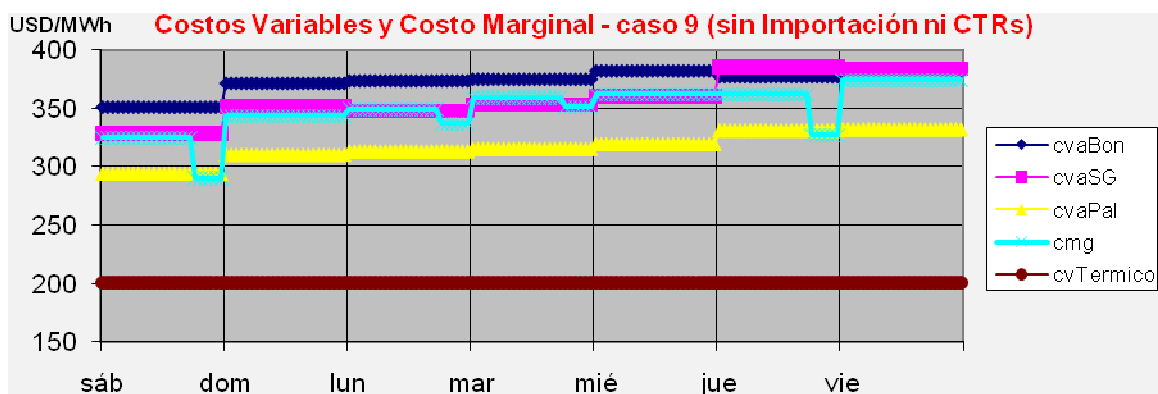


Figura 35. Se muestran los valores del agua de Bonete, Salto Grande y Palmar, así como el costo marginal del sistema, y el costo variable térmico (que en este caso corresponde a la TGAA), para la primer semana de la simulación, correspondientes al caso III.d (sin importación disponible ni CTRs). Se observa como, en este caso donde la falta de respaldo de potencia es notoria, el valor del agua de Salto Grande pasa a ser el más caro del sistema.

En el siguiente gráfico (Fig.36) se muestra esquemáticamente el valor del agua de Salto Grande para todos los casos analizados, de forma de permitir visualizar fácilmente algunas de las conclusiones ya mencionadas respecto de la sensibilidad frente a las distintas hipótesis consideradas.

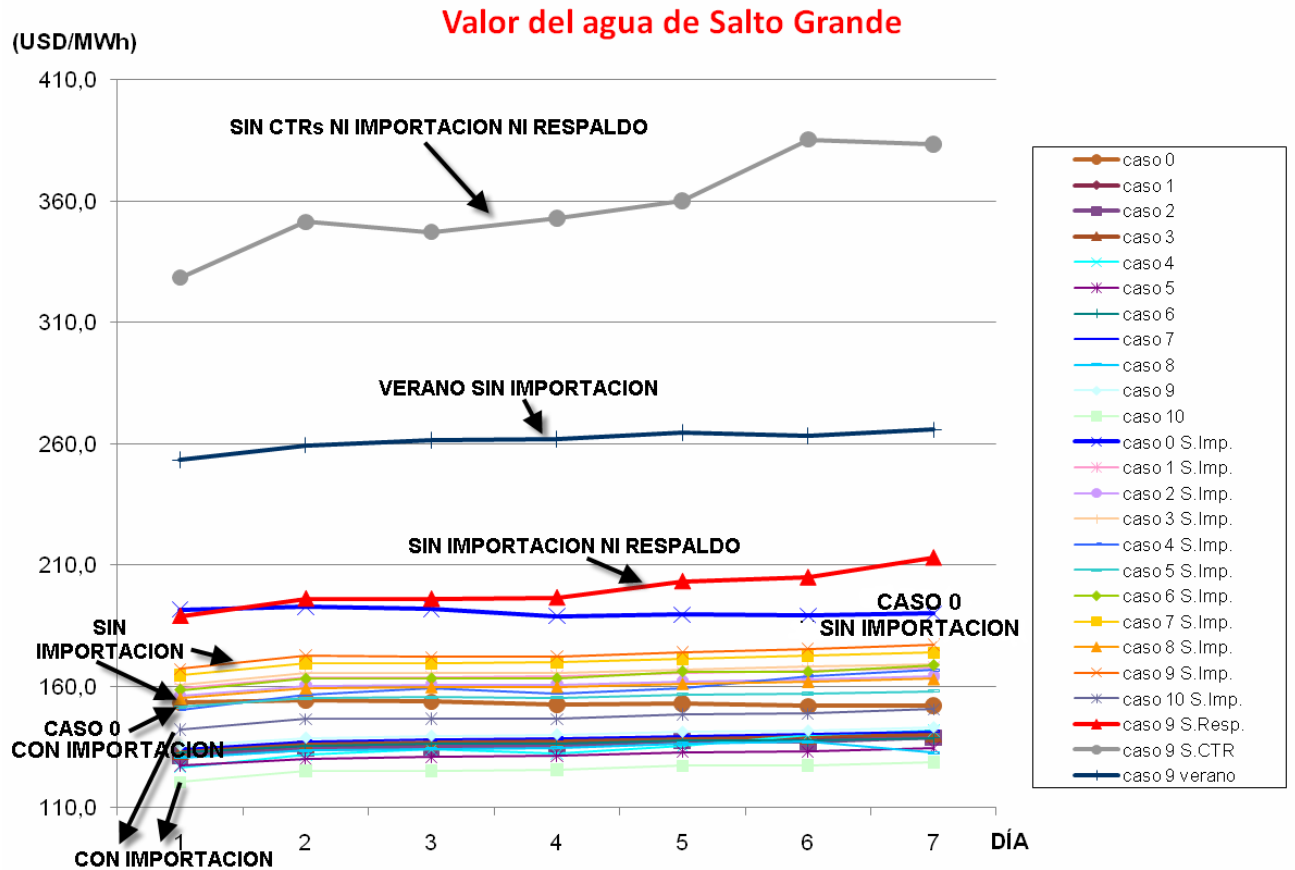


Figura 36. Se muestran el valor del agua de la represa de Salto Grande en la primer semana de la simulación, para la totalidad de los casos considerados en el presente estudio, esto es, los 10 casos base originalmente considerados más el caso 0 “control”, los mismos 10 casos junto con el caso 0, considerados “sin importación”, esto es, eliminando la disponibilidad de importación despachada de Brasil, y luego las modificaciones realizadas sobre el caso 9 (peor caso, con cota vista y real en 30,5m) al cual se le quitara además el respaldo de importación no despachada de Argentina (caso III.e) y adicionalmente la disponibilidad de las CTRs (caso III.d). El mismo caso 9 se analizó además para la semana 1 (verano) sin importación de Brasil. Se observa como los menores valores de agua se obtienen para los casos “con importación”, el caso 0 “con importación” toma un valor intermedio entre dichos casos y los casos “sin importación”, le siguen los casos “sin importación” de Brasil, luego el caso 0 “sin importación”, seguido por el caso en que se elimina el respaldo desde Argentina, luego el caso “sin importación” simulado para el verano, y por último y el más caro de todos el caso sin importación ninguna ni CTRs. *Notas:* Importación se refiere a la disponible y despachada de origen Brasil. Respaldo se refiere a la importación disponible pero no despachada de origen Gas Oil desde Argentina.

El análisis de la influencia de la estación del año considerada (invierno, verano) sobre el valor del agua, muestra como el agua se valoriza muy diferente, en las mismas hipótesis, siendo superior el valor del agua en verano del orden de 100 USD/MWh, tal como se aprecia en la Fig.36. Esto se debe a que en verano se opta por almacenar agua, previendo su futuro despacho para satisfacer la demanda invernal, estación en la cual el valor del agua baja notoriamente pues se busca utilizar el agua almacenada, no teniendo sentido guardarla para el verano. En este caso (III.c), si bien se observa un incremento notorio del valor del agua, no se observa un incremento relativo del valor del agua de Salto Grande respecto del de Bonete o Palmar, siendo que el sistema no presenta problemas de respaldo de potencia, como sería el caso III.d.

5 Posibles futuros trabajos.

Una mejora al estudio realizado, podría consistir en considerar la evolución de la cota real de Salto Grande, teniendo en cuenta las previsiones diarias de Energía que Argentina compra a Salto Grande, en lugar de considerar una cota constante o con variaciones exclusivamente aleatorias, a los efectos de lograr una mejor aproximación a la realidad.

Dado que dichas previsiones vienen dadas en energía (potencia media horaria) sería bueno que un futuro desarrollo del SimSEE incluyera la posibilidad de introducir dichos datos directamente, ajustando la cota real en consecuencia, a partir de un valor inicial dado para la misma.

Asimismo sería deseable que dicha cota real fuera ajustándose simultáneamente en base al despacho diario considerado para la media central uruguaya, esto es, en base a la cota vista dada por la operación sugerida en cada paso por el SimSEE.

Esto es, sería deseable poder modelar la represa de Salto Grande como la totalidad de la misma, con una cota que represente la cota real, que se vea afectada por la operación que realicen ambos países sobre la central, llevando por otro lado la “cuenta corriente” de la cota vista que corresponde a cada país.

Otra posible mejora a incorporar es que no se permita el despacho de la Central Hidráulica con Embalse, si la cota real de éste llega a su valor mínimo, más allá del doble de los aportes que ingresan. Actualmente se considera que si la cota vista es superior al valor mínimo, se permite el despacho, lo cual genera una situación irreal por no existir agua disponible en el embalse para turbinar. En el presente estudio esto solo afectó en menor medida algunos de los pasos en algunas corridas (con cota real 30m), pero esto se compensó a lo largo de la semana, no superándose nunca en promedio el doble de los aportes, por lo cual los resultados pueden considerarse válidos.

Referencias.

Chaer, R., 2009. Curso SimSEE. IIE, Facultad de Ingeniería. Cap. 1, 2, 4 y 5.

IMPORTANTE: Este trabajo se realizó en el marco del curso Simulación de Sistemas de Energía Eléctrica (SimSEE). El mismo fue evaluado por el enfoque metodológico, la pericia en la utilización de las herramientas adquiridas en el curso para la resolución del estudio y por la claridad de exposición de los resultados obtenidos. Se quiere dejar expresamente claro que no es relevante a los efectos del curso la veracidad de las hipótesis asumidas por los estudiantes y consecuentemente la exactitud o aplicabilidad de los resultados.
