

Implementación y evaluación en SimSEE de control de cota por curva de remanso para centrales hidroeléctricas con embalse.

Autores:

Gonzalo Hermida

Juan Felipe Palacio

IMPORTANTE: Este trabajo se realizó en el marco del curso Simulación de Sistemas de Energía Eléctrica (SimSEE) y 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. Ni la Facultad de Ingeniería, ni el Instituto de Ingeniería Eléctrica, ni el o los docentes, ni los estudiantes asumen ningún tipo de responsabilidad sobre las consecuencias directas o indirectas que asociadas al uso del material del curso y/o a los datos, hipótesis y conclusiones del presente trabajo.

Trabajo final, curso **SimSEE 2015**

IIE – FING – UDELAR

Julio 2015

Montevideo – Uruguay.

Objetivos

- **Implementar y evaluar** el control de cota por **Curva de Remanso** para centrales hidroeléctricas con embalse.

Objetivos

- **Verificar** el correcto funcionamiento de la implementación mediante pruebas sencillas.

Objetivos

- Estudio de un **caso de prueba**. Sala de corto plazo utilizada para la **programación semanal** de una semana en particular, y **evaluar resultados**.

Objetivos

- **Documentar** la implementación del control y los resultados obtenidos a partir pruebas sencillas realizadas para su validación.

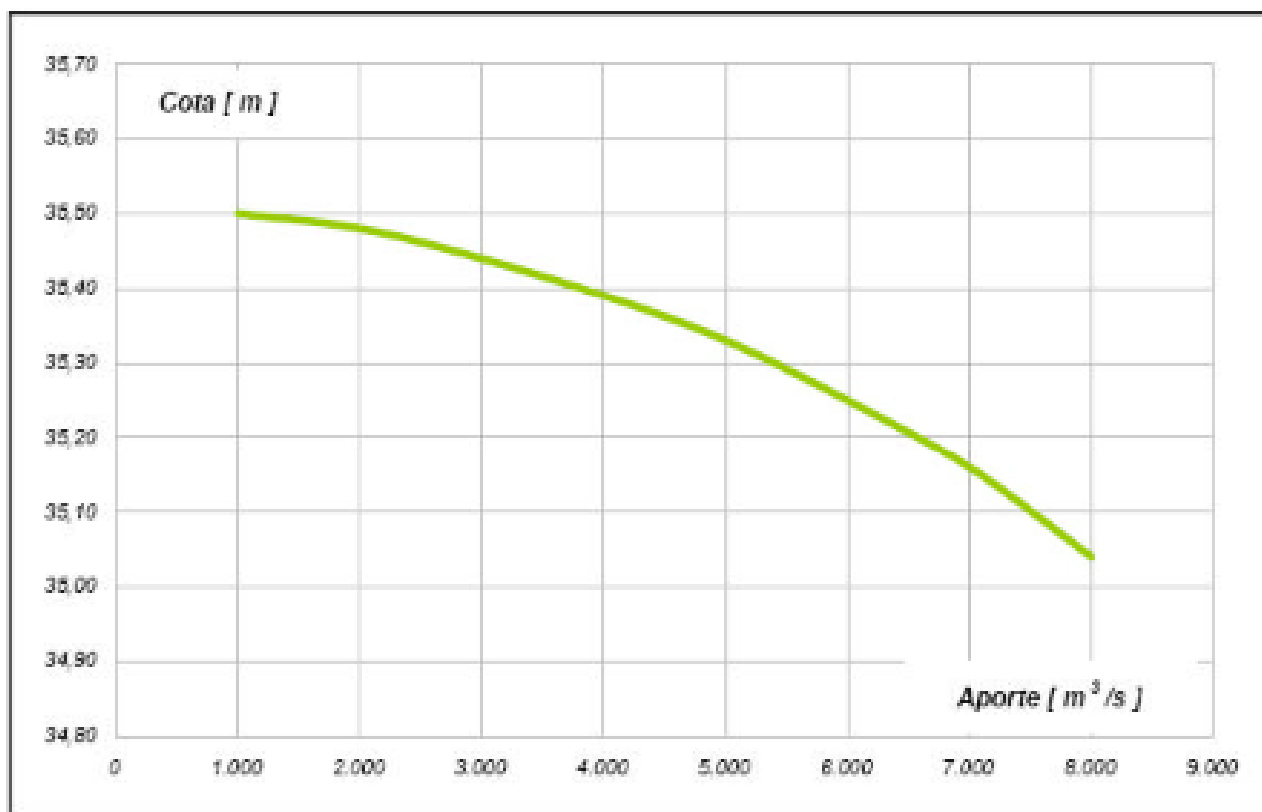
Curva de Remanso

Salto Grande establece una cota máxima admisible en función del aporte a la represa.

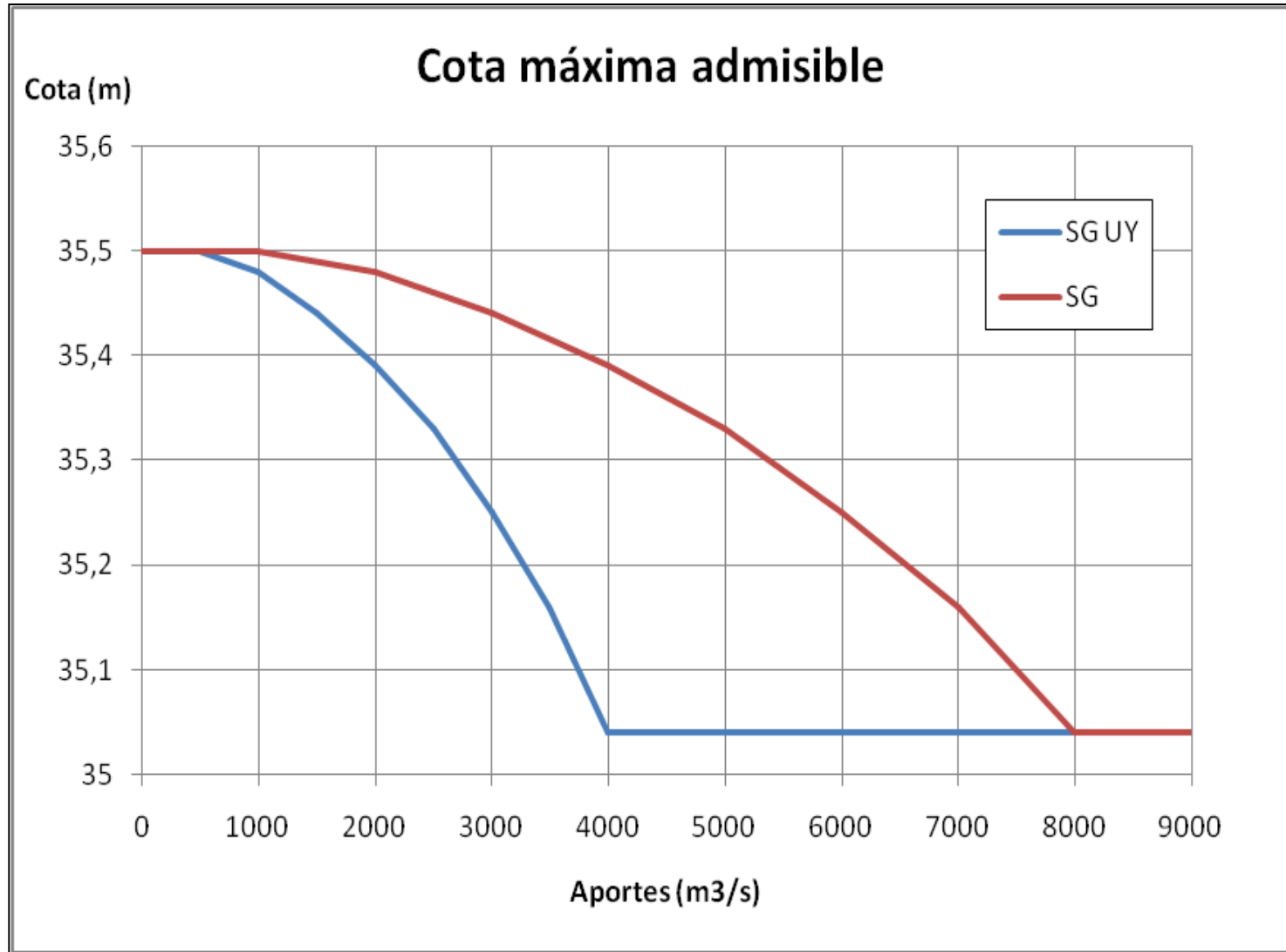
Curva de Remanso

Nível Máximo Normal

Aporte [m ³ /s]	Cota [m]
1.000	35,50
2.000	35,48
3.000	35,44
4.000	35,39
5.000	35,33
6.000	35,25
7.000	35,16
8.000	35,04



Curva de Remanso



Curva de Remanso

- El control por Curva de Remanso es válido en operación normal de la central.
- No se aplica en condiciones extraordinarias.
- Para este trabajo cotas máximas:
 - 8000 m³/s en 35.04 m
 - 1000 m³/s 35.5 m

Implementación

- En SimSEE (actor hidráulico con embalse), erogado mínimo es el máximo entre:
 - *Erogado mínimo (ingresado por el usuario en cada ficha)*
 - *Control de crecida según cota por ISME (control de crecidas decamilenarias)*
- Lo anterior sin sobrepasar:
 - *Volumen erogable máximo según cota*
 - *Caudal máximo turbinable*
- Por lo tanto, para incluir el Control de cota por Curva de Remanso se calcula el volumen mínimo a erogar en cada paso de tiempo para estar por debajo de la curva, y se lo agregará a la lista de restricciones.

Implementación

Cálculo del erogado mínimo según Curva de Remanso:

- 1) En cada paso de tiempo, con los aportes, el volumen inicial y las pérdidas por filtración y evaporación se calcula el volumen proyectado como al que se llegaría si la central no erogara agua:

$$X_S = V_i + (Q_A - Q_P) * \frac{\text{segundosDelPaso}}{1e6} [hm^3]$$

Implementación

Cálculo del erogado mínimo según Curva de Remanso:

- 2) Mediante una función que devuelve la cota del embalse según el volumen, se obtiene la cota proyectada:

$$h_S = \text{VolumenToCota}(X_S)$$

Implementación

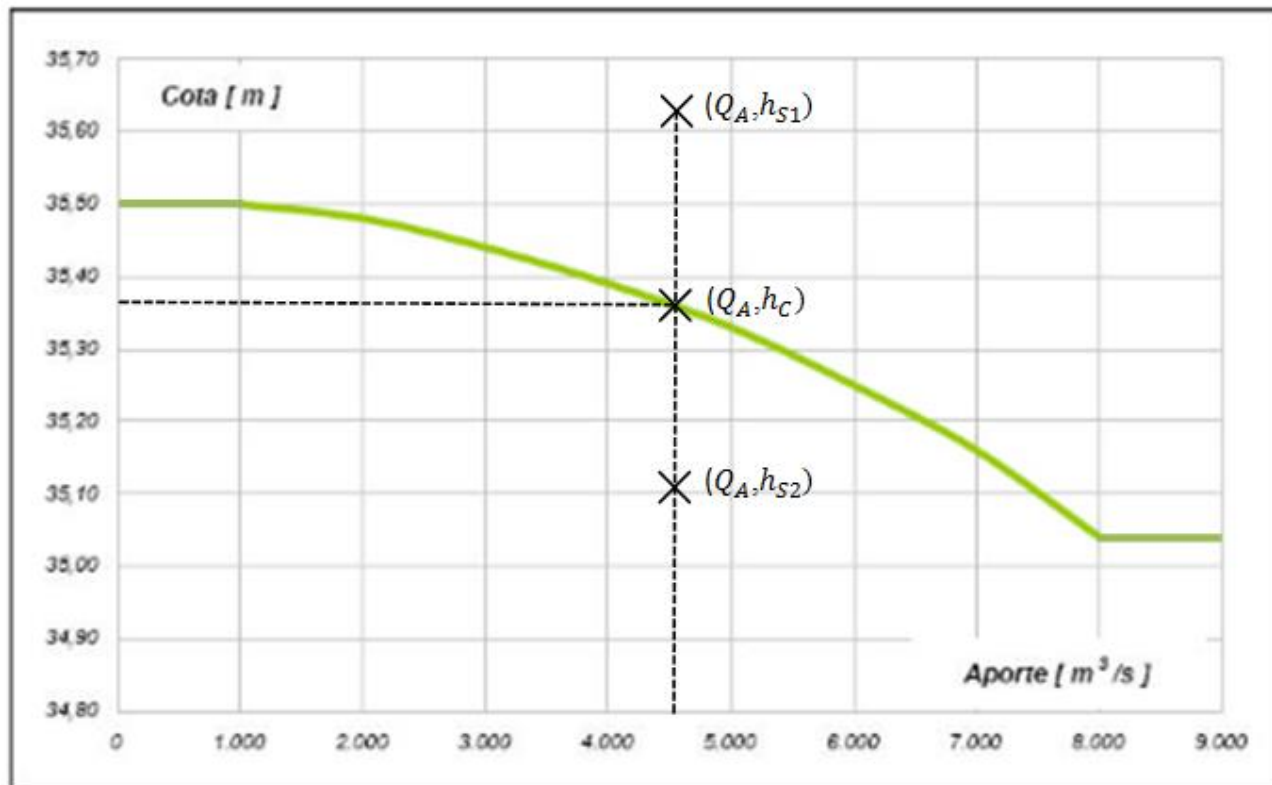
Cálculo del erogado mínimo según Curva de Remanso:

3) Utilizando la Curva de Remanso se calcula la cota máxima admisible según CCR.

Implementación

Cálculo del erogado mínimo según Curva de Remanso:

4) Se evalúa la cota proyectada con la cota máxima admisible.



Implementación

Cálculo del erogado mínimo según Curva de Remanso:

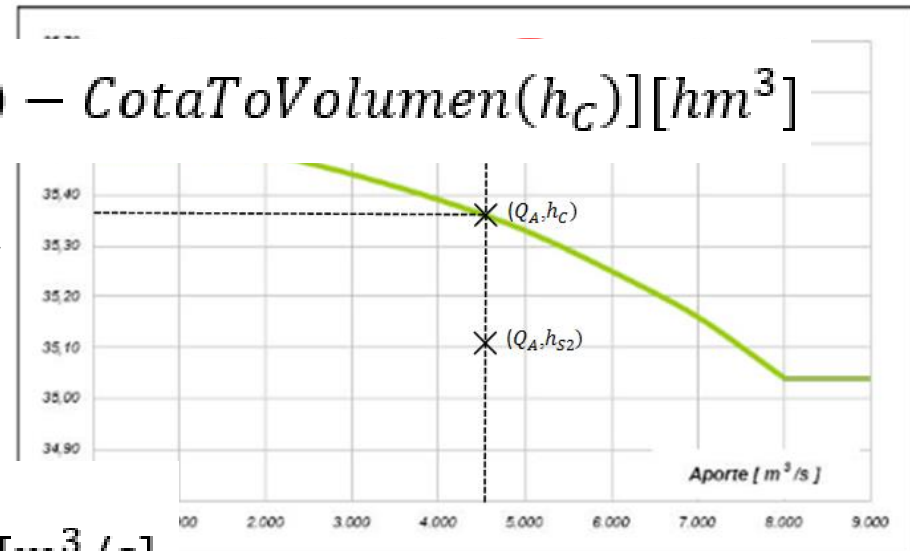
Si la cota proyectada queda por arriba de la curva:

Se calcula el volumen a erogar por control por curva de remanso:

$$V_{CCR} = [CotaToVolumen(h_S) - CotaToVolumen(h_C)] [hm^3]$$

Se calcula el caudal correspondiente a tiempo:

$$Q_{CCR} = V_{CR} * \frac{1e6}{segundosDelPaso} [m^3/s]$$



Implementación

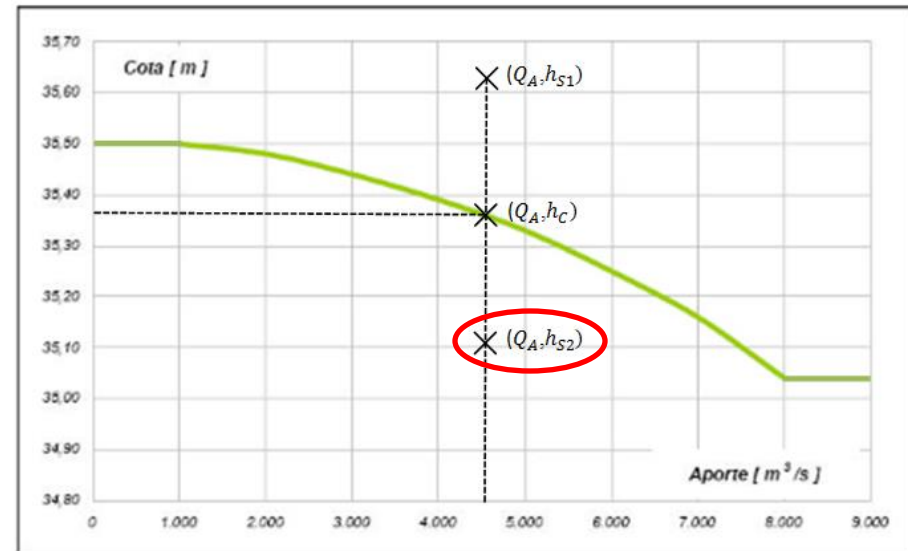
Cálculo del erogado mínimo según Curva de Remanso:

Si la cota proyectada queda por debajo de la curva:

Se cumple que la cota proyectada sin erogado es menor a la cota impuesta por la curva de remanso, por lo que no se aplica el control:

$$V_{CCR} = 0 \text{ hm}^3$$

$$Q_{CCR} = 0 \text{ m}^3/\text{s}$$



Metodología

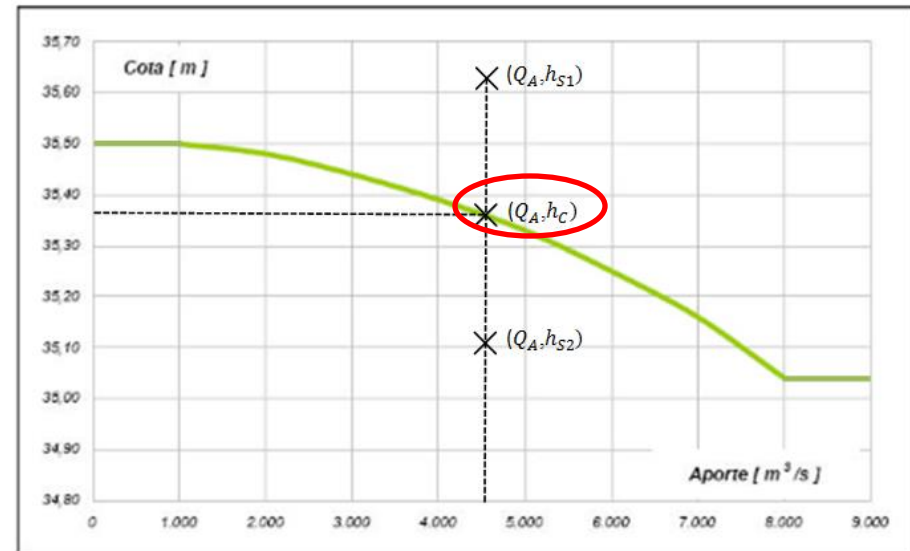
Cálculo del erogado mínimo según Curva de Remanso:

Si la cota proyectada queda superpuesta a la curva:

En este caso, al igual que en el anterior, se cumple que la cota proyectada sin erogado es menor a la cota impuesta por la curva de remanso, por lo que tampoco se aplica el control:

$$V_{GCR} = 0 \text{ hm}^3$$

$$Q_{GCR} = 0 \text{ m}^3/\text{s}$$



Implementación en SimSEE

Editar ficha de "SG" Hidroeléctrica con embalse

Fecha de inicio (dd/MM/yyyy): 01/01/1900 ?

Capa: 0

Periodica?

Inicio del Periodo: 0

Fin del Periodo: 0

Largo del Periodo: 1 Años

Ciclos Activa	
Ciclos Inactiva	
Desplazamiento	

Cota mínima operación[m]: 30

Cota máxima operación[m]: 35,5

Puntos cota-volumen h[m]: 30,00; 32,50; 35,5

Puntos cota-volumen V[Hm3]: 0,00; 574,50; 152

Área de la cuenca[ha]: 0

Cota de la descarga para cálculo del salto[m]: 4,5

Coefficientes de afectación del salto por caudal erogado(caQE): 0,00181

Coefficientes de afectación del salto por caudal erogado(cbQE): -9,2E-8

Rendimiento[p.u.]: 0,858

Potencia máxima generable[MW]: 135

Caudal máximo turbinable[m3/s]: 630

Factor de disponibilidad[p.u.]: 0,99

Tiempo de reparación[horas]: 48

Ca filtración[m3/s]: 0

Cb filtración[m2/s]: 0

Qa muy seco[m3/s]: 0

Cota mínima para vertimiento[m]: 30

Cota máxima para vertimiento[m]: 36,5

Caudal vertido con la cota máxima[m3/s]: 23500

Salto mínimo operativo: [m]: 15

Control de cota objetivo

Activar si (h < h_Objetivo) (Sim) Activar si (h < h_Objetivo) (Opt)

Activar si (h > h_Objetivo) (Sim) Activar si (h > h_Objetivo) (Opt)

Cota objetivo [m]: 0

Delta Valor del Agua [USD/Hm3]: 0 Valor agua exacto?

Valorización Manual

cv_Valorización Manual [USD/Hm3]: 0

Manejo de Cota Real

Tomar de la Fuente?

Fuente: <Agregar nueva...>

Borne:

EMaxPaso(MWh)

QErogado mínimo(m³/s): 300 Imponer QErogadoMín por Poste?

Control de Crecida cota de inicio [m]: 35,5

Control de Crecida cota de Erogado a Pleno [m]: 36

Control de crecida caudal de erogado a pleno [m3/s]: 26910

Calcular evaporación del Lago. Pagos (no considerados en el despacho)

Calcular filtración del lago. Pago por disponibilidad [USD/MWh]: 0

Pago por energía [USD/MWh]: 0

Control Crecida por Cota vs. Aportes

1 Cotas [m]: 35,50; 35,39; 35,04 Activar control 3

Aportes [m3/s]: 1000,00; 4000,00; 8000,00 2

Guardar Cambios Cancelar Editar Centrales Encadenadas

Pruebas de la implementación

- Sala muy sencilla que permite observar los cambios y compararlos con los que se obtendrían sin el control.
- Se busca que Salto Grande sólo erogue agua por los controles de crecida y no por despacho económico.
- Se compara como se comportaría SG si sólo se mantuviera el control por crecida (CC) y si se considerara también el control por curva de remanso (CC+CR) para los siguientes casos:
 - SG con cota de 33 m
 - SG con cota de 37 m

Pruebas de la implementación

Características principales de la sala:

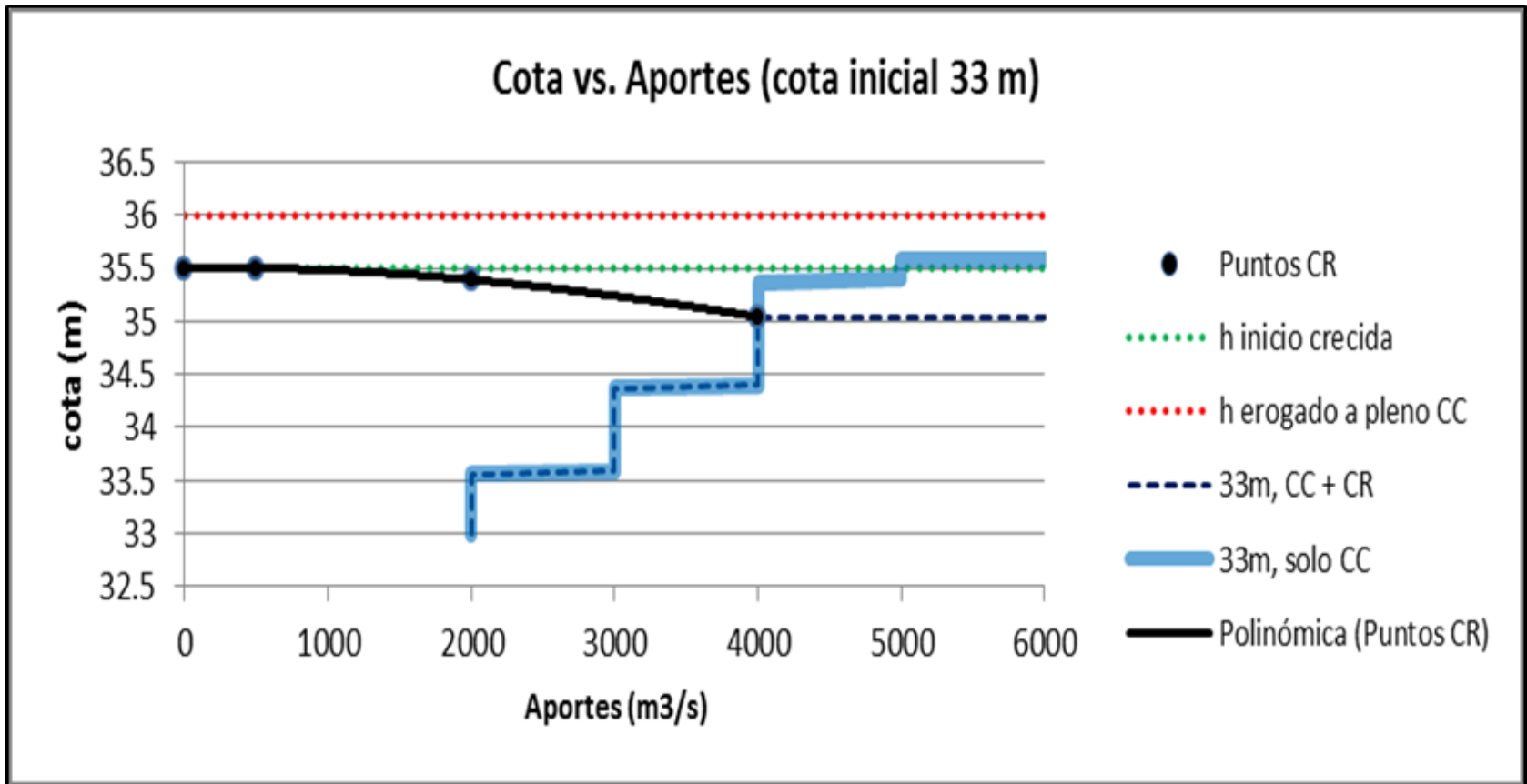
- Paso de tiempo horario
- Falla de 1 escalón de profundidad 100 %, y CV de 50 USD/MWh.

Actor hidráulico con embalse (Salto Grande):

- Se valoriza SG a 10.000.000 USD/hm³ para asegurar que el orden de despacho sea primero la falla y segundo SG.
- Se agrega el control de cota según Curva de Remanso.

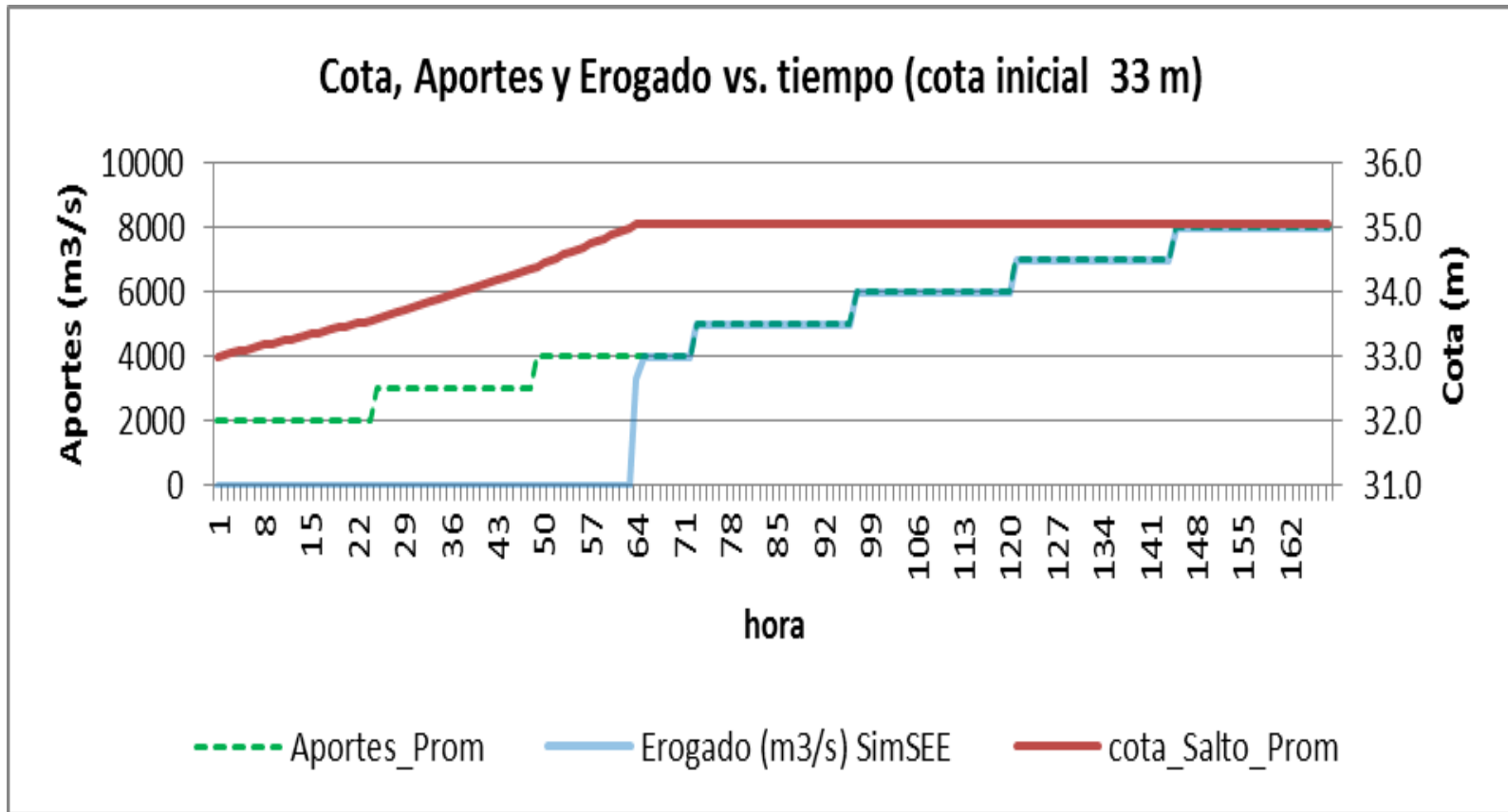
Pruebas de la implementación

Resultados y análisis (Caso 1: Cota de inicio 33 m):



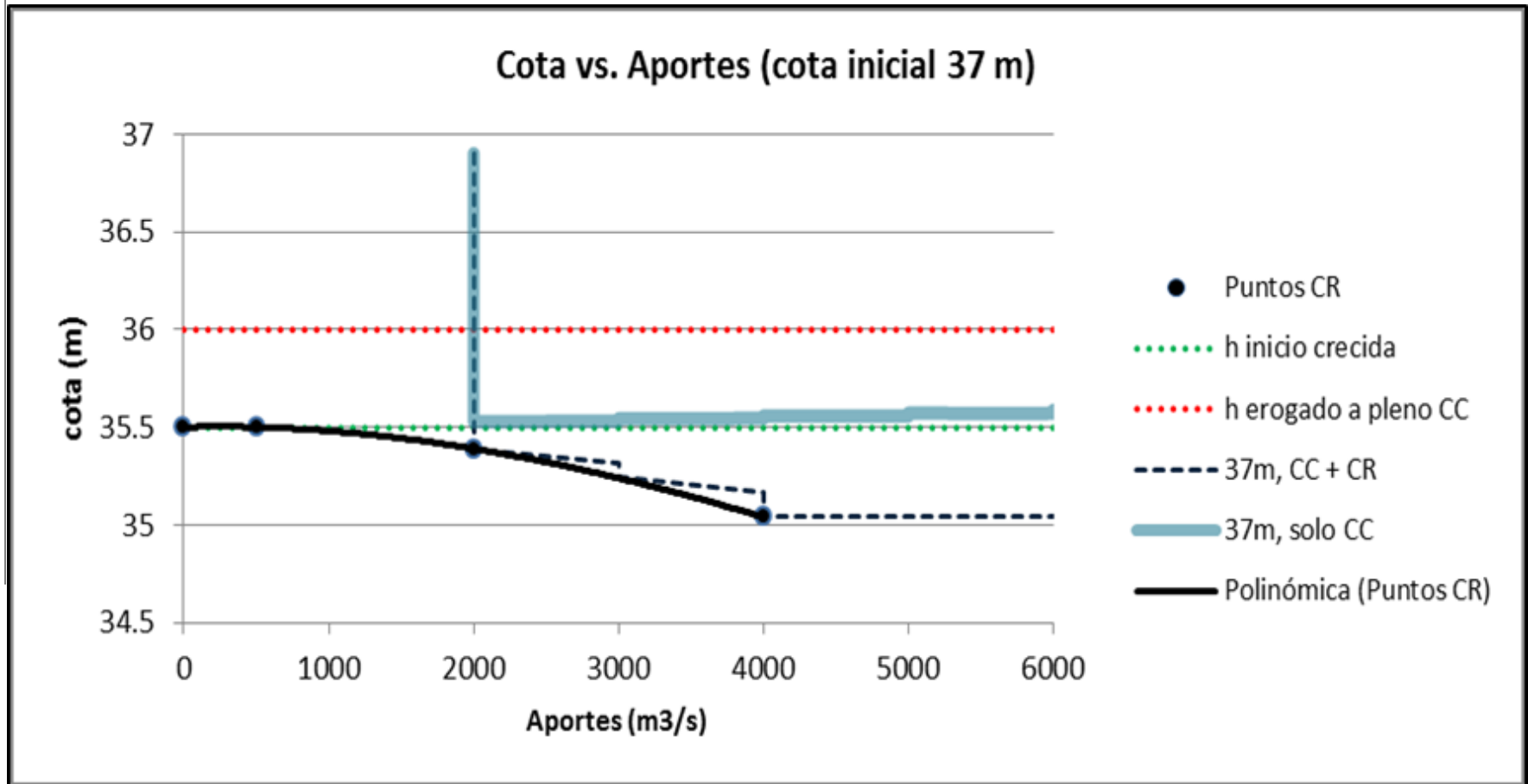
Pruebas de la implementación

Resultados y análisis (Caso 1: Cota de inicio 33 m):



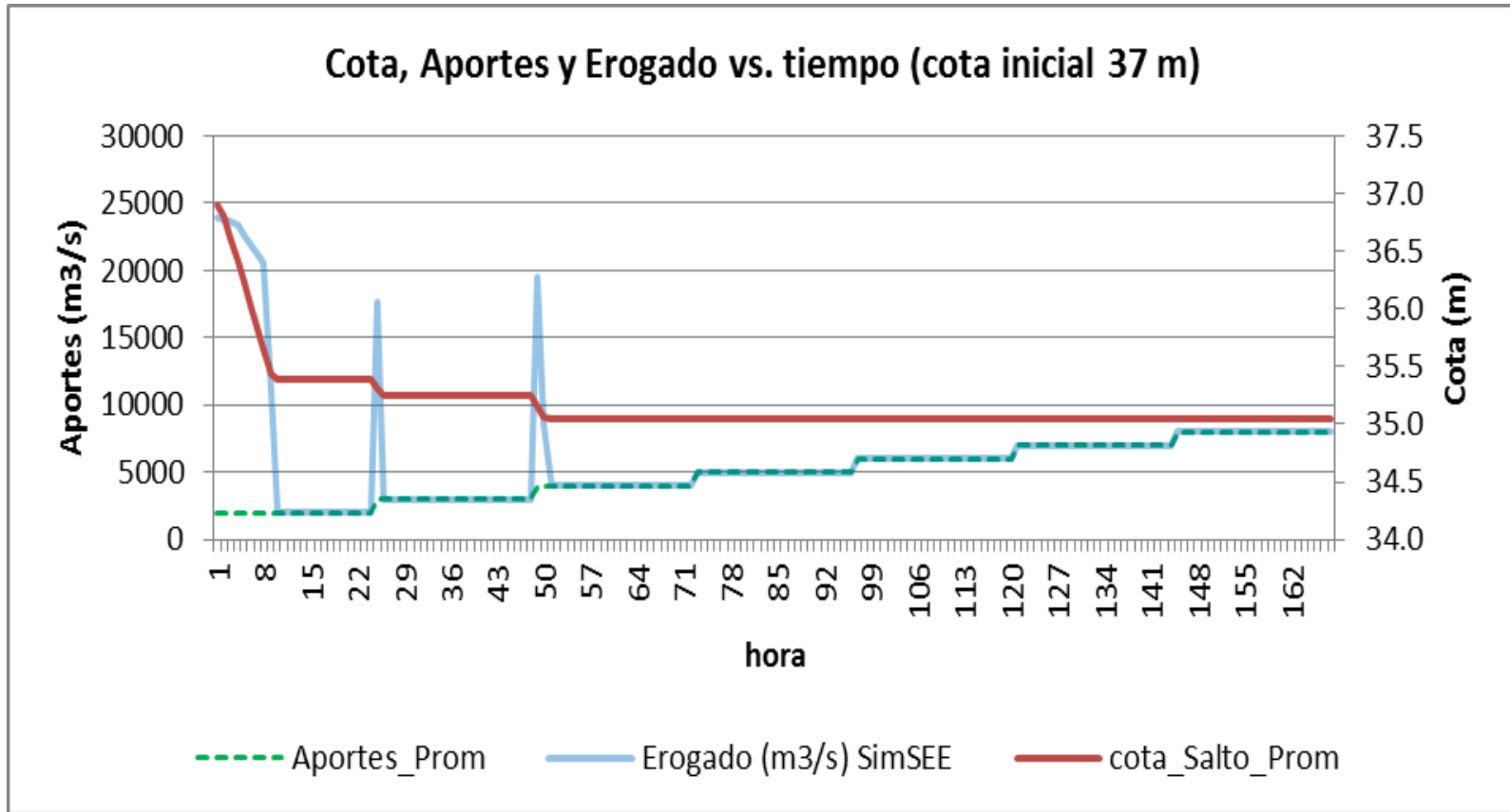
Pruebas de la implementación

Resultados y análisis (Caso 2: Cota de inicio 37 m):



Pruebas de la implementación

Resultados y análisis (Caso 2: Cota de inicio 37 m):

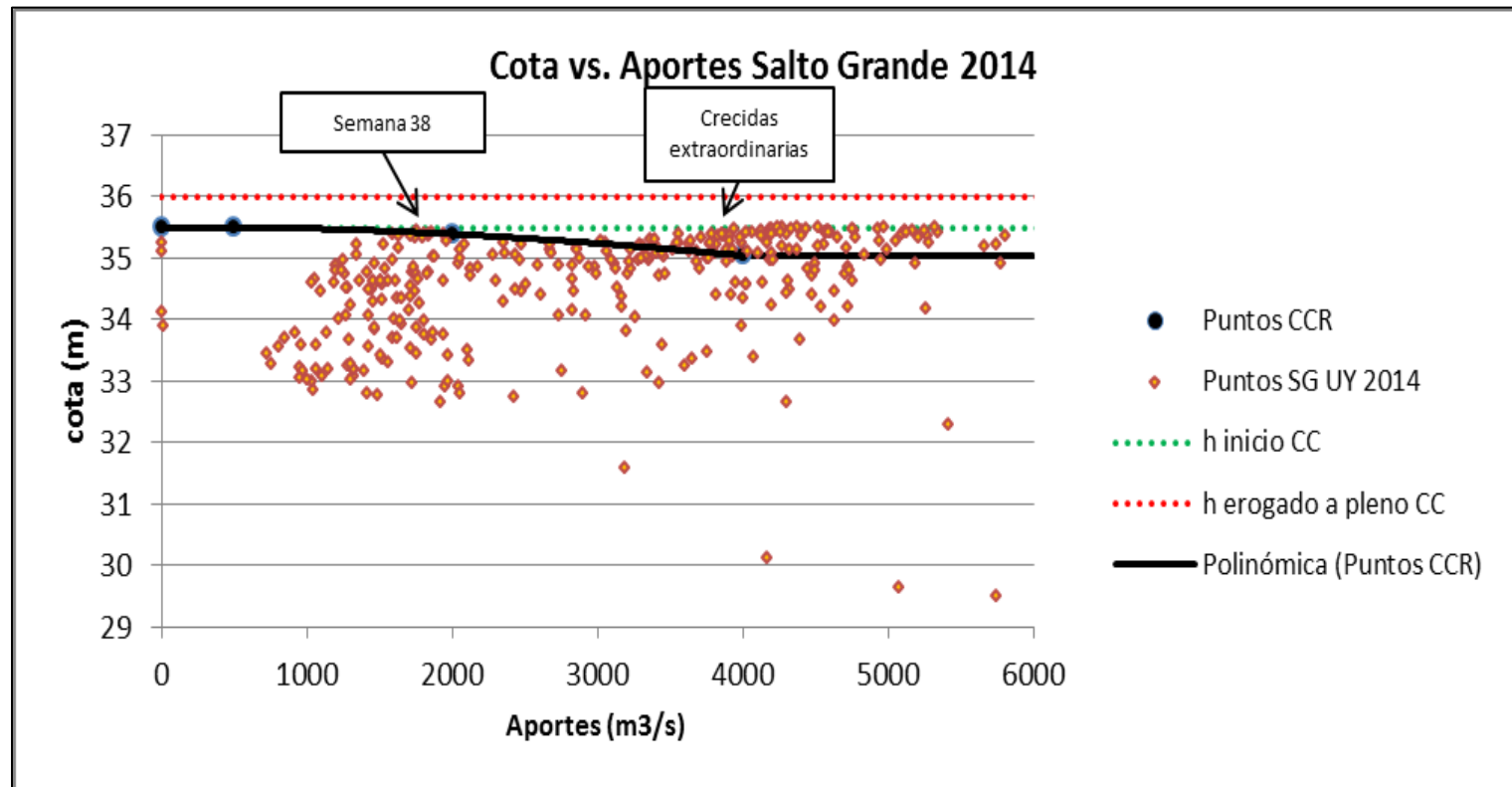


Hipótesis de trabajo

- **Programación semanal (semana 38 del año 2014)**
- Paso de tiempo horario
- Aportes, eólica y roturas de máquinas determinísticos.
- Demanda detallada con aleatoriedad de $\pm 3\%$.
- Hidro con embalse: Salto Grande, Palmar, Bonete.
- Hidro de pasada: Baygorria
- Térmicos: APR 1 y 2, CTR, Eólica, GenDis, Motores CB, PTI, UPM.
- Exportación hacia Argentina.
- Importación de Brasil.
- Se engancha con sala de mediano plazo.
- Horizonte de simulación y optimización de 1 semana.

Metodología

Se eligió una semana del año y agregó el control por curva de remanso (CCR).



Se eligió convenientemente la semana 38 del 2014 que presenta valores por encima de la curva pero con aportes no muy altos.

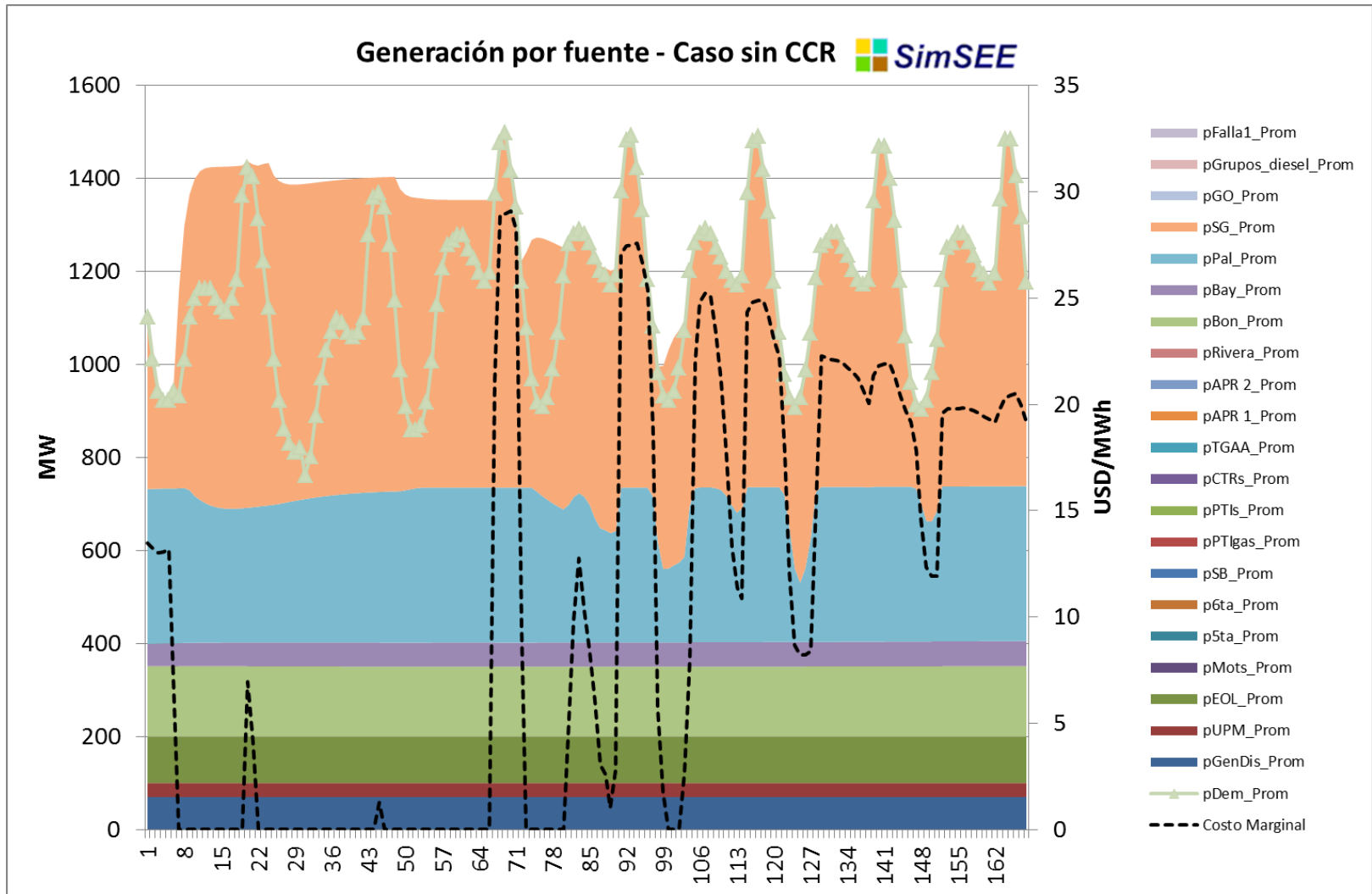
Metodología

Se busca evaluar la operación del sistema a partir del agregado del control (caso con CCR) y sin el agregado del control (caso sin CCR) comparando:

- Generación por fuente
- Costos marginales
- Valorización del agua embalsada en Salto Grande
- Datos hidráulicos
- Curva Cota vs. Aportes
- Costos directos y futuros

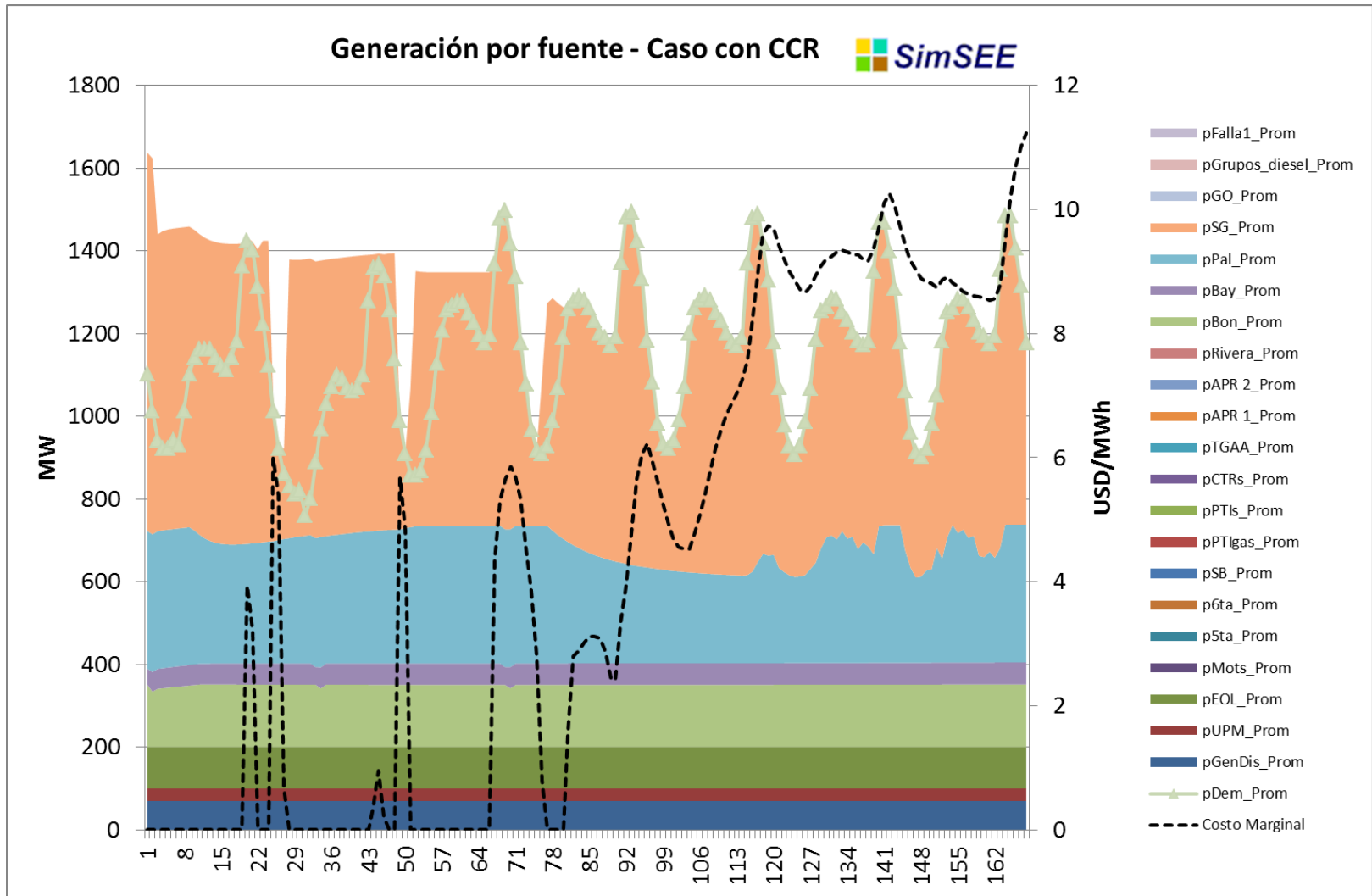
Resultados y análisis

Caso sin CCR



Resultados y análisis





Caso con CCR



Resultados y análisis

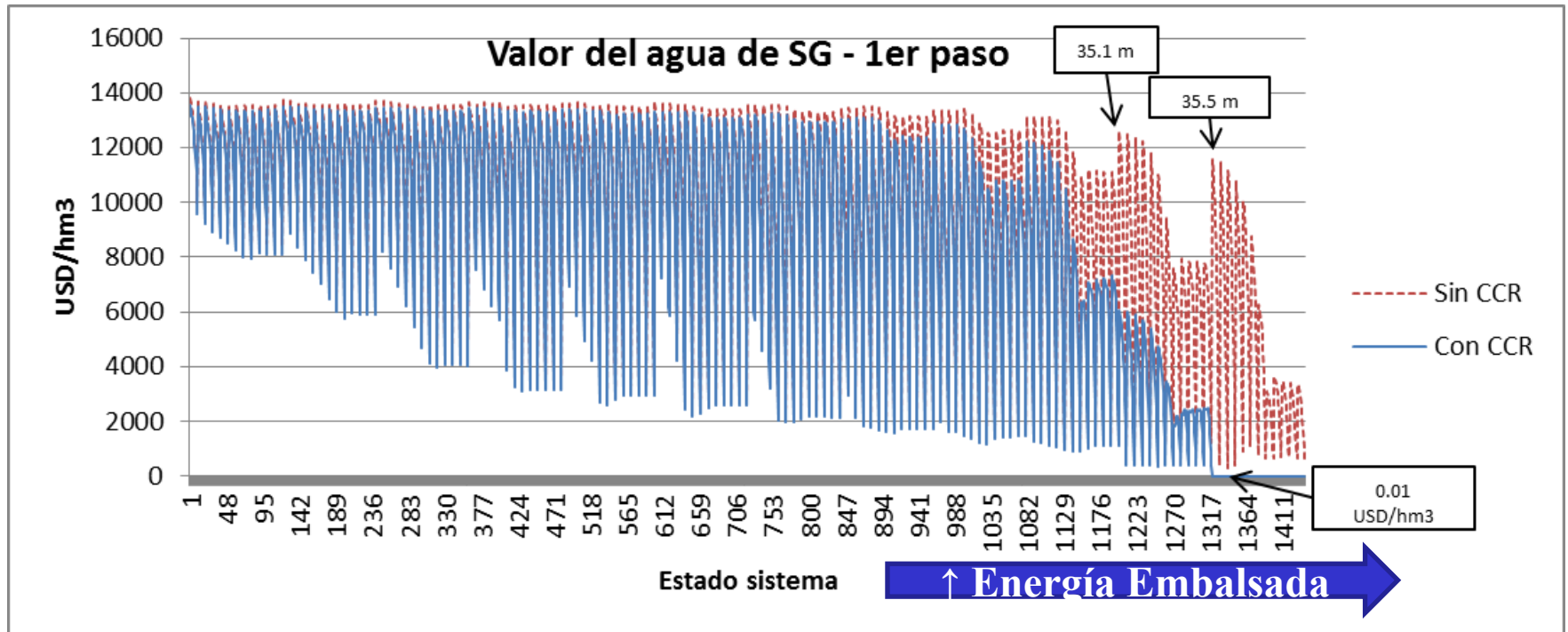
- Despacho idéntico para autodespachados (Eólicos, UPM y Generación distribuida), Bonete y Baygorria.
- Se notan diferencias para Salto, Palmar y Exportación.

Generación media semanal:

	Gen Media sin CCR (MW)	Gen Media con CCR (MW)
Salto Grande	564.2 	583.0 
Bonete	150.7	150.4
Baygorria	52.1	51.8
Palmar	309.3 	288.0 
Gen. Dis + UPM	200.0	200.0
Exportación	116.5	113.5
Demanda media	1159.7	1159.7

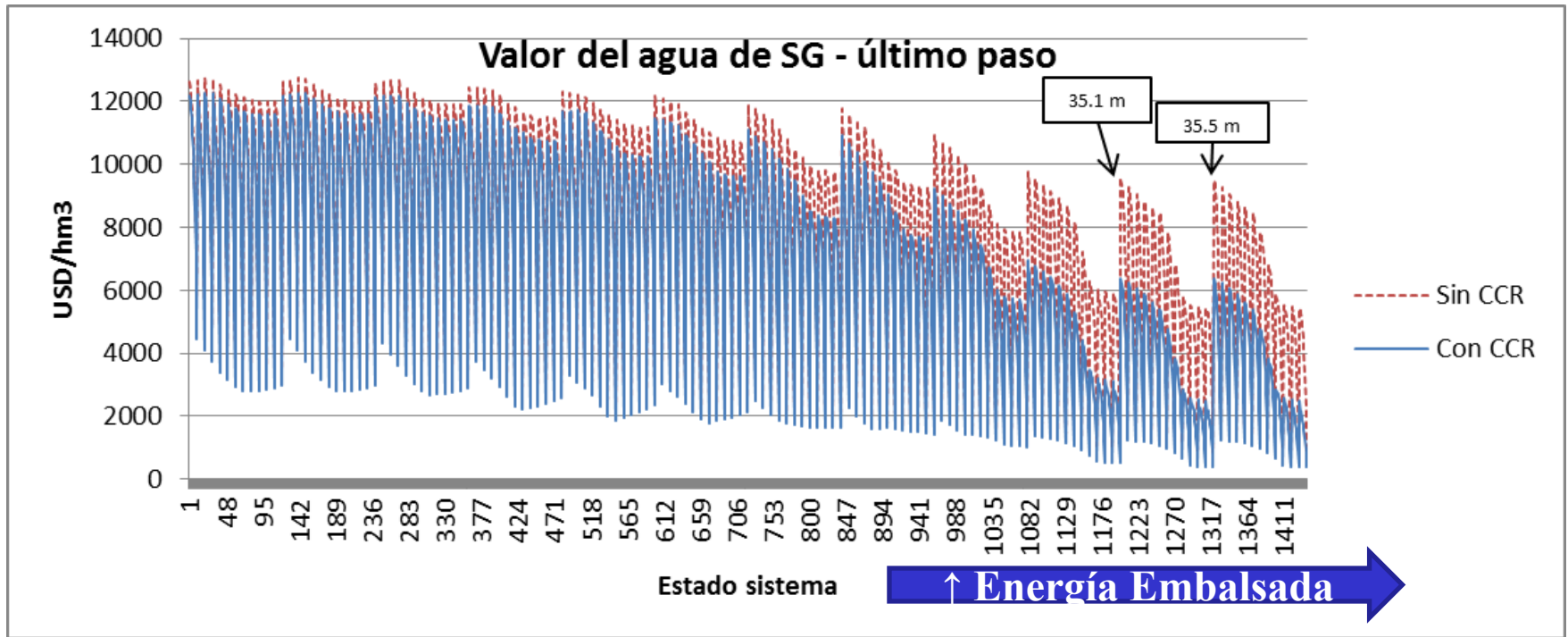
Resultados y análisis

Valorización de SG (primer paso):



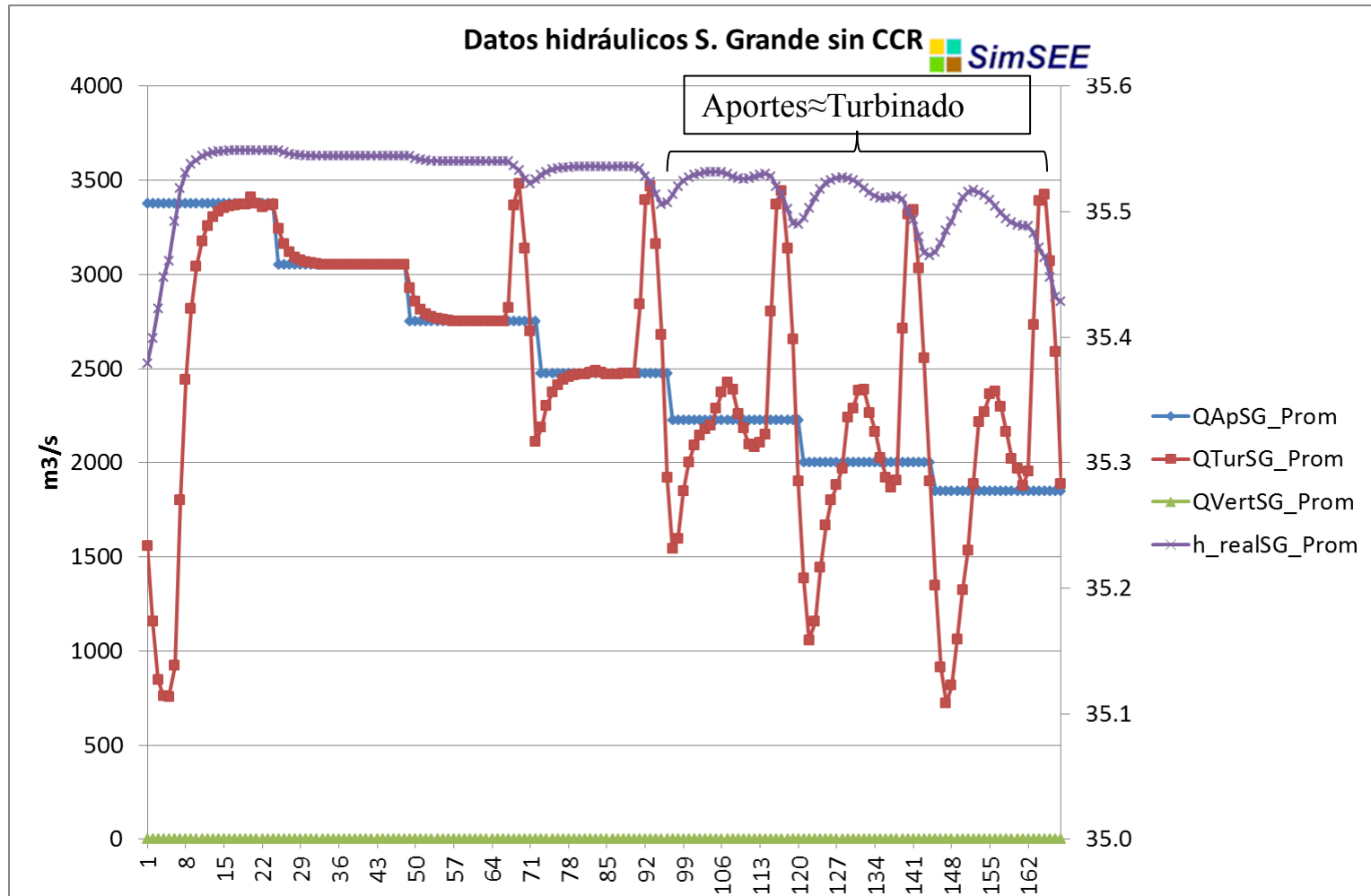
Resultados y análisis

Valorización de SG (último paso):



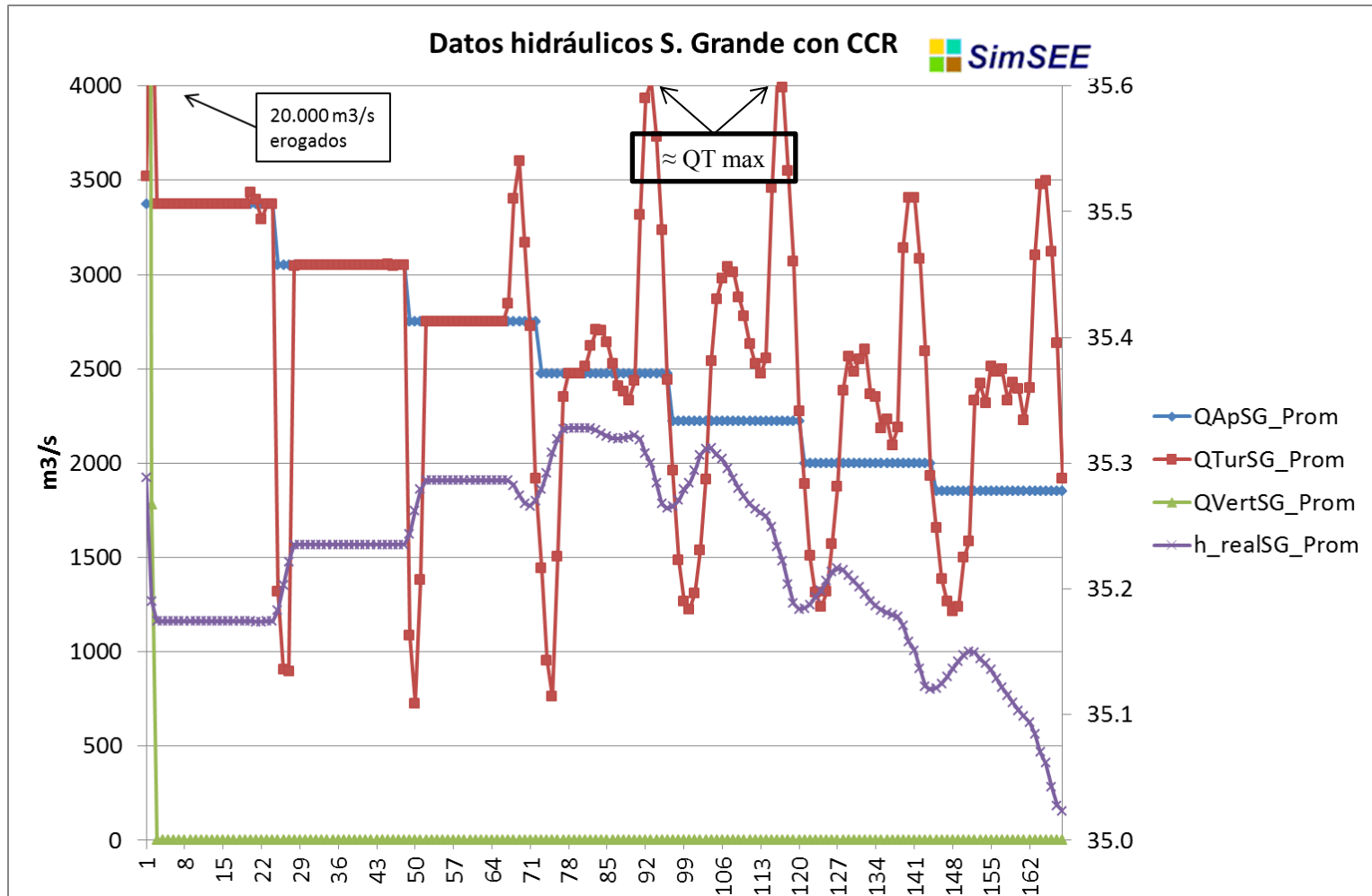
Resultados y análisis

Datos hidráulicos Salto Grande (sin CCR):



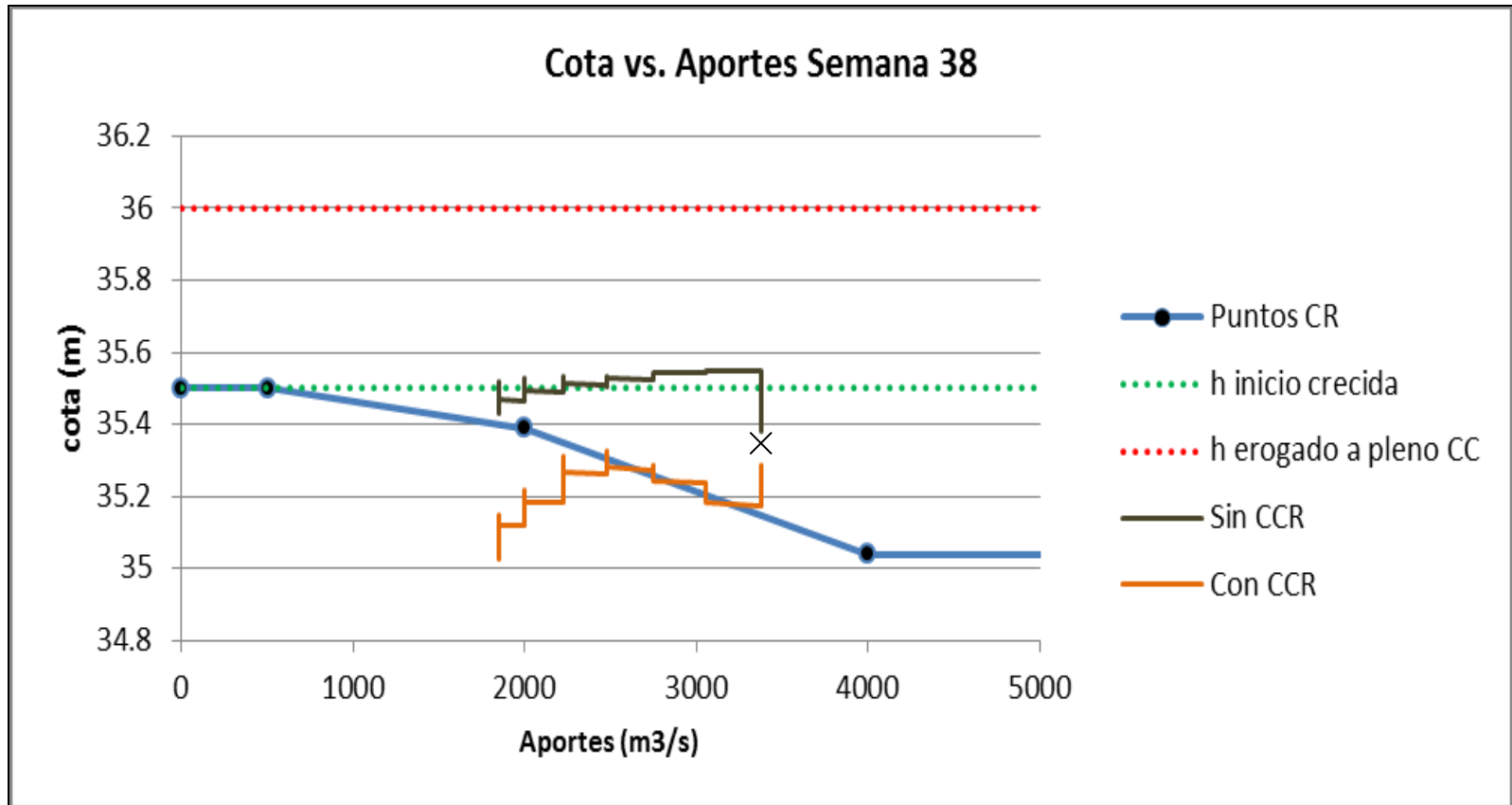
Resultados y análisis

Datos hidráulicos Salto Grande (con CCR):



Resultados y análisis

Comparación curva Cota vs. Aportes:



Resultados y análisis

Cotas finales y Costos:

Caso sin CCR

Cotas finales (m)			Costos (MUSD)			
Salto Grande	Palmar	Bonete	Futuro	Directo s/expo	Expo	Total
35.4	39.8	81.3	6.77E+02	3.38E-05	-1.96E-04	6.77E+02

Caso con CCR

Cotas finales (m)			Costos (MUSD)			
Salto Grande	Palmar	Bonete	Futuro	Directo s/expo	Expo	Costo Total
35.0	40.0	81.3	6.82E+02	3.36E-05	-1.91E-04	6.82E+02

Conclusiones

Implementación

- Se cumple satisfactoriamente lo esperado conceptualmente.
- Se verifica que al agregar el control por CR y habiendo valorizado SG por encima de la falla, SG eroga exactamente lo exigido por el control, manteniéndose sobre la curva.

Conclusiones

Caso de estudio: Programación Semanal

- A partir del CCR, SG presenta cotas inferiores a las que se obtendrían sin su activación.
- Se respetan las cotas máximas exigidas por la central y se obtiene una mejor representación de la central y una programación semanal acorde a la realidad.

Conclusiones

Caso de estudio: Programación Semanal

- Para la Semana 38 del 2014 no existen diferencias significativas en los costos totales esperados al agregar el control implementado.
- Sobrecosto de 0.7 % despreciable frente a las incertidumbres en los costos esperados por incertidumbre en entradas al modelo (cotas, disponibilidades, aportes, etc).

Posibles trabajos futuros

- Aplicar el mismo control de cota por Curva de Remanso en el modelo de central hidroeléctrica con embalse binacional.

FIN

- Gracias por vuestra atención.