

Análisis y ajuste del modelo de SG en SimSee

Actor: Generador hidráulico de pasada

1. Resumen ejecutivo

- El modelo de SG actualmente implementado en SimSee resulta optimista en términos de salto para caudales mayores a $15000 \text{ m}^3/\text{s}$, pero pesimista en términos del rendimiento de las unidades en todo el rango de caudales analizado de $0 \text{ m}^3/\text{s}$ a $30000 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Relacionado a lo anterior, se determinó que el modelo de SG actualmente implementado en SimSee subestima la potencia de SG en el rango de caudales de $0 \text{ m}^3/\text{s}$ a $15000 \text{ m}^3/\text{s}$ en aproximadamente un 5 %, y la sobreestima a partir de este último valor.
- A efectos de corregir los apartamientos comentados anteriormente, se determinaron los parámetros a ajustar en SimSee según se indica en la siguiente tabla:

Parámetro SimSee	Modelo SimSee visto clase	Modelo SimSee con salto y rendimiento ajustado
H_{desc}	4.5 m	5.324 m
caQ_E	$0.00181 \text{ s}/\text{m}^2$	$0.01236 \text{ s}/\text{m}^2$
cbQ_E	$-9.2 \times 10^{-8} \text{ s}^2/\text{m}^5$	$-2.197 \times 10^{-8} \text{ s}^2/\text{m}^5$
η	0,858 pu	0,9085 pu

- En SimSee, el CEGH que modela los caudales de aporte al lago de SG representa solamente el 50% de los valores reales. Por tanto, el modelo de cálculo de salto utilizado en SimSee toma como dato de entrada estos caudales reducidos (50%), mientras el modelo de Hidrología SG toma los reales (100%). Como consecuencia, la potencia asignada a SG en SimSee corresponde al 50% de su potencia real, representando únicamente la potencia correspondiente a Uruguay.

2. Objetivo

Este análisis tiene como objetivo analizar el modelo de SG actualmente implementado en SimSee, visto en las salas de largo plazo trabajadas en clase (curso SimSee 2021). Se pretende analizar el modelo en cuánto al cálculo del salto y la potencia.

Dos observaciones:

- Durante el documento, se indica indistintamente “caudal de aporte” o “caudal erogado”, dado que en las salas SimSee de largo plazo SG se modela como central de pasada.
- Del mismo modo, se indica indistintamente “salto” o “salto bruto” o “salto neto”, dado que en este análisis se desprecian las pérdidas en rejas.

3. Nomenclatura

- SG: Salto Grande.
- Q_{erogSG} : Caudal erogado de SG [m³/s].
- Q_{erogUY} : 50 % del caudal erogado de SG [m³/s]. $Q_{erogUY} = 0.5Q_{erogSG}$.
- H_{lago} : Cota del lago de SG [m].
- SB: Salto de SG [m].

4. Modelo de salto de SimSee

$$SB_{SimSee} = H_{lago} - H_{desc} - caQ_E(Q_{erogUY}) - cbQ_E(Q_{erogUY})^2$$

$$SB_{SimSee} = H_{lago} - H_{desc} - caQ_E\left(\frac{Q_{erogSG}}{2}\right) - cbQ_E\left(\frac{Q_{erogSG}}{2}\right)^2 \quad (ec1)$$

Donde:

- caQ_E : Coeficiente de afectación del salto “a” [s/m²].
- cbQ_E : Coeficiente de afectación del salto “b” [s²/m⁵].
- H_{desc} : Cota de descarga [m].

El modelo SimSee de SG visto en clase asigna a estos parámetros los siguientes valores:

- $caQ_{E,clase} = 0.00181 \text{ s/m}^2$
- $cbQ_{E,clase} = -9.20 \times 10^{-8} \text{ s}^2/\text{m}^5$
- $H_{desc} = 4.5 \text{ m}$

5. Modelo de salto de Hidrología SG

$$SB_{HidroSG} = H_{lago} - \left(\frac{Q_{erogSG}}{910}\right)^{\frac{1}{1.3}} - 4.7; \quad \text{si } Q_{erogSG} < 15000 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{ec2.1})$$

$$SB_{HidroSG} = H_{lago} - 0.0877(Q_{erogSG})^{0.522}; \quad \text{si } Q_{erogSG} \geq 15000 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{ec2.2})$$

Nota: Se desprecian las pérdidas en rejillas.

6. Comparación modelos de salto de SimSee e Hidrología SG

Considerando los modelos vistos anteriormente, se observa que resulta más fácil realizar la comparación en base a la Cota de restitución: $HR = H_{lago} - SB$. De esta forma, se puede realizar la comparación de ambos modelos de salto en forma independiente de H_{lago} .

$$HR_{SimSee} = H_{desc} + caQ_E \left(\frac{Q_{erogSG}}{2}\right) + cbQ_E \left(\frac{Q_{erogSG}}{2}\right)^2 \quad (\text{ec3})$$

$$HR_{HidroSG} = \left(\frac{Q_{erogSG}}{910}\right)^{\frac{1}{1.3}} + 4.7; \quad \text{si } Q_{erogSG} < 15000 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{ec4.1})$$

$$HR_{HidroSG} = 0.0877(Q_{erogSG})^{0.522}; \quad \text{si } Q_{erogSG} \geq 15000 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{ec4.2})$$

En el siguiente gráfico se compara la cota de restitución según ambos modelos para caudales erogados en el rango de $0 \text{ m}^3/\text{s}$ a $30000 \text{ m}^3/\text{s}$:

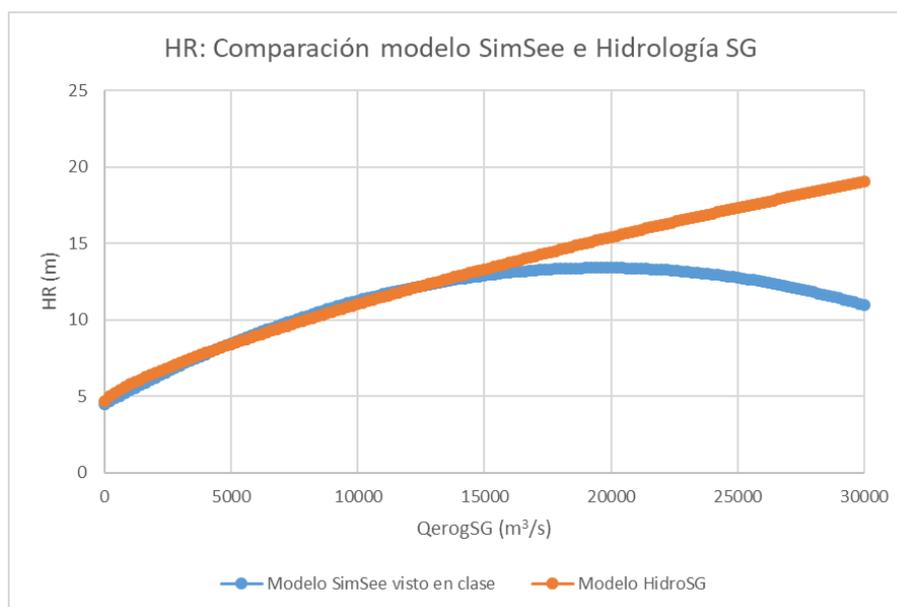


Figura 1: cota de restitución (HR) según modelo de salto SimSee visto en clase e Hidrología SG.

Se observa buena similitud entre ambos modelos en el rango de caudales de $0 \text{ m}^3/\text{s}$ a $15000 \text{ m}^3/\text{s}$, pero curiosamente el modelo SimSee visto en clase presenta valores de cota de restitución decrecientes para caudales mayores a $15000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dicho de otra forma, y según se observa en el gráfico de la Figura 2 construido asumiendo cota del lago $H_{\text{lago}} = 34.05 \text{ m}$, el modelo de salto de SimSee visto en clase presenta valores de salto crecientes con el caudal para caudales mayores a $15000 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que resulta un comportamiento poco acorde a la realidad.

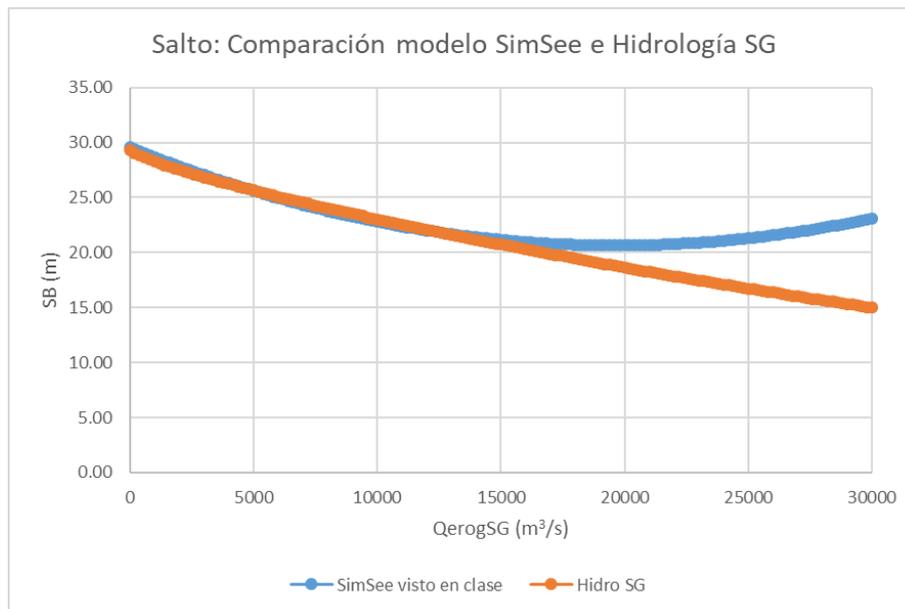


Figura 2: salto (SB) según modelo de salto SimSee visto en clase e Hidrología SG.

7. Ajuste modelo de salto de SimSee al de Hidrología SG

Recordando la ecuación ec3 vista anteriormente, se busca determinar los parámetros del modelo SimSee H_{desc} , caQ_E y cbQ_E que mejor ajustan al modelo de Hidrología SG de las ecuaciones ec4.1 y ec4.2. Realizando este ajuste para caudales erogados en el rango de $0 \text{ m}^3/\text{s}$ a $30000 \text{ m}^3/\text{s}$, se obtiene:

	Modelo SimSee visto en clase	Modelo SimSee con salto ajustado
H_{desc}	4.5 m	5.324 m
caQ_E	$0.00181 \text{ s}/\text{m}^2$	$0.01236 \text{ s}/\text{m}^2$
cbQ_E	$-9.2 \times 10^{-8} \text{ s}^2/\text{m}^5$	$-2.197 \times 10^{-8} \text{ s}^2/\text{m}^5$
η	0,858 pu	0,858 pu

Finalmente, en el gráfico de la Figura 3 se compara la cota de restitución según el modelo de Hidrología SG y los dos modelos SimSee vistos hasta ahora:

- visto en clase (curva azul)
- con salto ajustado (curva gris)

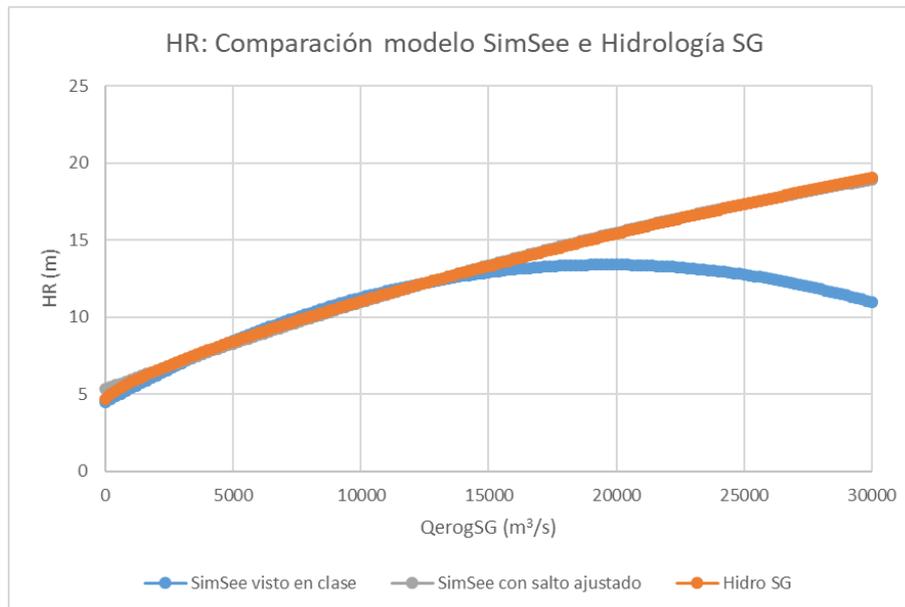


Figura 3: salto (SB) según modelo de salto SimSee visto en clase, SimSee con salto ajustado e Hidrología SG.

Se observa muy buena similitud entre el modelo SimSee con salto ajustado (curva gris) y el de Hidrología SG (curva naranja) en todo el rango de caudales analizado.

8. Comparación modelos de potencia de SimSee e Hidrología SG

Culminado el análisis y ajuste del modelo de salto implementado en SimSee, corresponde analizar el cálculo de potencia y eventualmente determinar el ajuste necesario.

Se destaca en primer lugar que la potencia asignada a SG en SimSee corresponde al 50% de su potencia real, producto de utilizar el 50% de los caudales de aportes reales, representando únicamente la potencia correspondiente a Uruguay (de ahí la notación " $P_{SG_{uy}}$ " que se utiliza a continuación).

Según se interpreta del análisis de los manuales de SimSee (pg. 132), la mitad de la potencia de SG se calcula en base a la siguiente ecuación ec5:

$$P_{SG_{uy}}[MW] = N_{ug} \cdot (0,0098\eta) \cdot \left[\min \left(qtu_{max}, \frac{Q_{erogSG}}{2N_{ug}} \right) \right] \cdot [H_{lago} - HR_{SimSee}] \quad (ec5)$$

Donde:

- N_{ug} : Unidades en servicio en SG, fijado en 14 en los modelos vistos en este análisis.

- η [pu]: Es el rendimiento de las unidades de SG (turbina y generador), fijado en $0,858pu$ en la sala SimSee vista en clase.
- qtu_{max} : Caudal máximo turbinable por unidad, fijado en $315 m^3/s$ en la sala SimSee vista en clase.

Se realizan tres observaciones:

- El modelo de cálculo de potencia de SG implementado en SimSee según la ecuación ec5, coincide con el modelo simplificado que habitualmente se utiliza de manera interna en SG por lo que se asume válido.
- Sin embargo, el rendimiento utilizado en la sala SimSee vista en clase, $\eta = 0,858pu$, es menor al estimado por SG, $\eta = 0,9085pu$, mediante el producto del rendimiento de turbina y generador ($\eta_t = 0,927pu$ y $\eta_g = 0,98pu$ respectivamente). Por tanto, dado que ambos modelos de potencia coinciden (el implementado en SimSee y el interno de SG) y el ajuste del modelo de salto de SimSee ya fue realizado en el capítulo anterior, se concluye que solamente resta ajustarse el rendimiento de la sala SimSee vista en clase según el rendimiento estimado por SG, $\eta = 0,9085pu$.
- Respecto al caudal máximo turbinable, qtu_{max} , se determinó que el ajuste actual de $315 m^3/s$ es adecuado debido que a permite alcanzar la potencia máxima de SG ($945 MW$) a partir de cotas del lago superiores a $H_{lago} = 34,42 m$.

Finalmente, en el gráfico de la Figura 4 se compara la potencia de SG según el modelo interno de SG y los tres modelos SimSee vistos hasta ahora:

- visto en clase (curva azul)
- con salto ajustado (curva gris)
- con salto y rendimiento ajustado (curva amarilla)

Se observa muy buena similitud entre el modelo SimSee con salto y rendimiento ajustado (curva amarilla) y el interno de SG (curva naranja) en todo el rango de caudales analizado.

Por otro lado, se destaca que el modelo de SG de la sala SimSee vista en clase subestima la potencia de SG en el rango de caudales de $0 m^3/s$ a $15000 m^3/s$ en aproximadamente un 5 %, y la sobreestima a partir de este último valor.

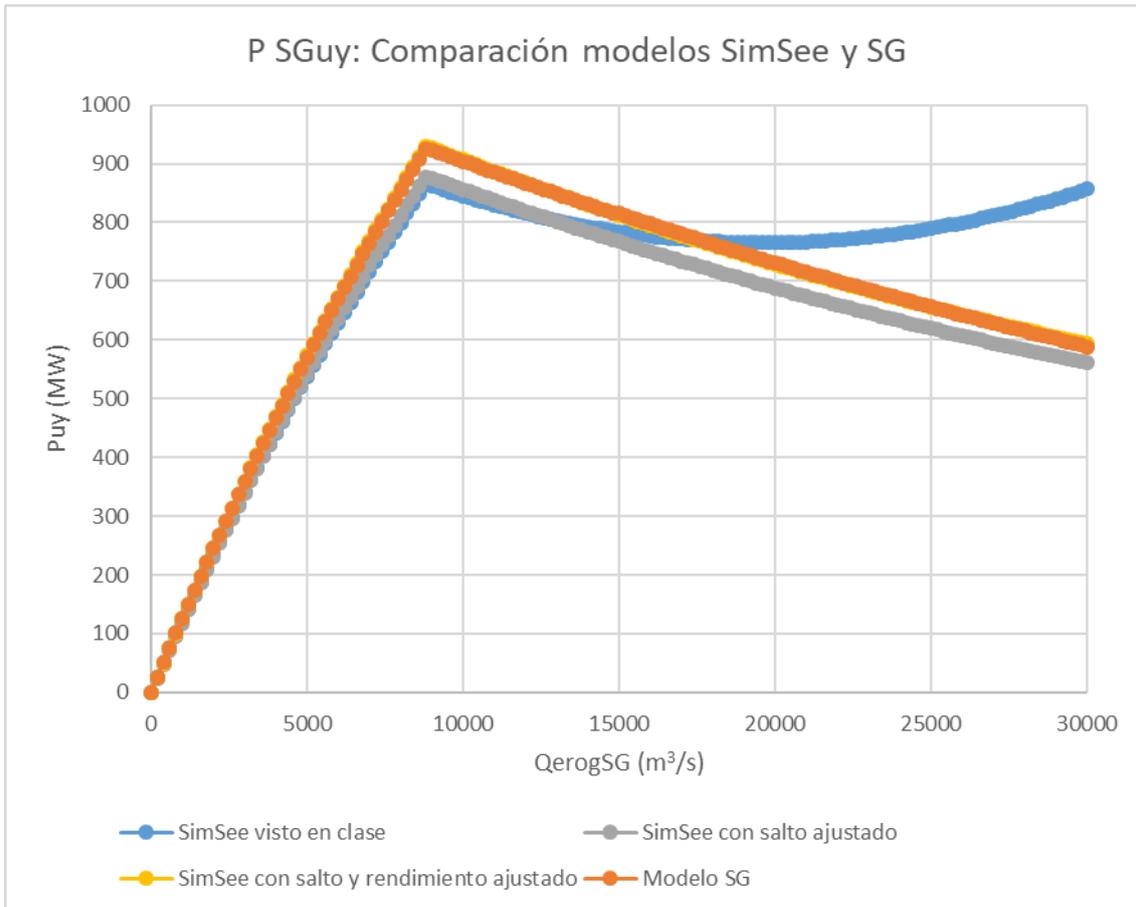


Figura 4: potencia de SG (P SGuy) según modelo de salto SimSee visto en clase, SimSee con salto ajustado, SimSee con salto y rendimiento ajustado e interno de SG.

Por último, en la siguiente tabla se resume los parámetros de los tres modelos SimSee vistos en este análisis:

	Modelo SimSee visto en clase	Modelo SimSee con salto ajustado	Modelo SimSee con salto y rendimiento ajustado
H_{desc}	4.5 m	5.324 m	5.324 m
caQ_E	0.00181 s/m ²	0.01236 s/m ²	0.01236 s/m ²
cbQ_E	-9.2x10 ⁻⁸ s ² /m ⁵	-2.197x10 ⁻⁸ s ² /m ⁵	-2.197x10 ⁻⁸ s ² /m ⁵
η	0,858 pu	0,858 pu	0,9085 pu

9. Anexo

Planilla de cálculo utilizada para el estudio:



Análisis y ajuste del modelado de SG en