

Cota en la variación de potencia de máquinas térmicas en el SimSEE

Grupo: 1

Autores: Ignacio Nin, Alfredo Solari

Instituto de Ingeniería Eléctrica - FING.
Trabajo final curso SimSEE edición 2021
Montevideo - Uruguay.

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.

1. Objetivo.

El objetivo del presente proyecto es testar dentro de la plataforma del SimSEE una funcionalidad de cota en la variación de potencia, la cual fue previamente agregada al generador térmico simple en el SimSEE. La variación de potencia, de aquí en más referida como dP/dT , será limitada de forma horaria de manera que el valor de dP/dT discretizado sea el valor de $\Delta P/1h$. Dicha restricción se especificará mediante un parámetro en MW/h.

El proyecto consiste en testear la funcionalidad a través de varios escenarios de prueba que culminan en la sala VATES semanal, suplantando al generador de ciclo combinado por un actor térmico básico con dP/dT .

2. Hipótesis de trabajo.

Los actores del SimSEE no cuentan con restricciones en la derivada de la potencia. Cualquier actor térmico del SimSEE puede pasar de cero a plena carga en un paso temporal, salvo por el ciclo combinado que cuenta con una máquina de estados para modelar la purga y la toma de carga.

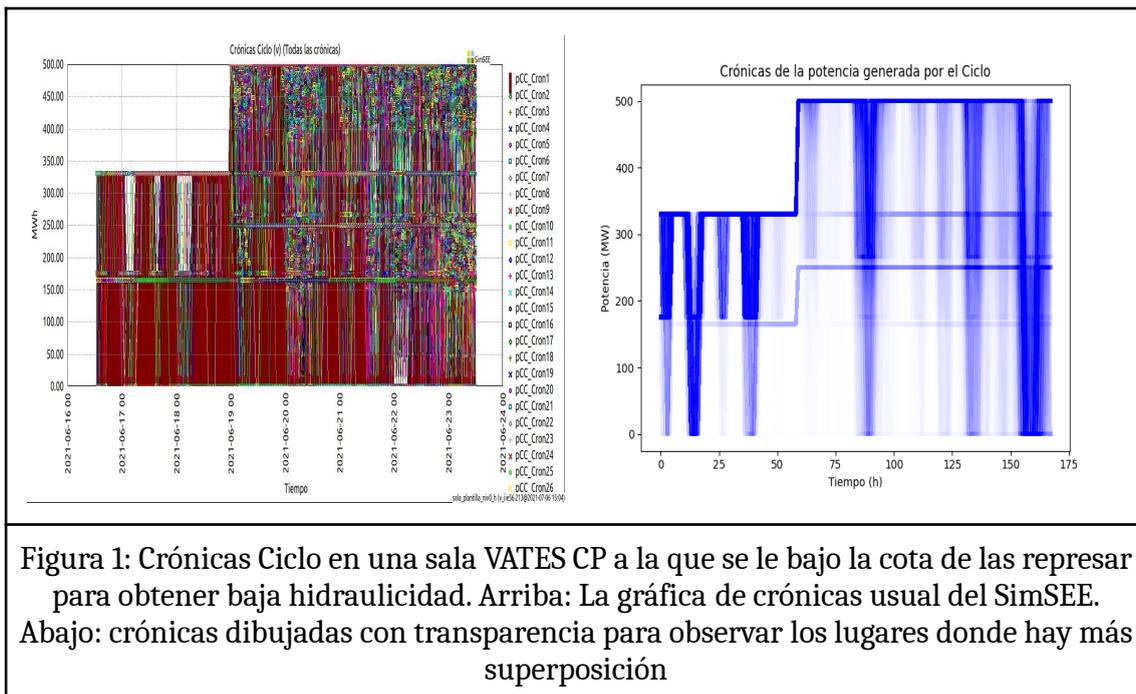
La máquina de estados del ciclo combinado causa que el SimSEE demore del orden de 200 veces más simulando/optimizando una sala del VATES semanal (de paso horario) cuando se utiliza.

En la sala del VATES que se puede descargar de latorre.adme.com.uy/vates el ciclo combinado está modelado por una máquina que no tiene estados pero tampoco restricciones de derivada de la potencia, generando crónicas como la que se aprecia en la figura 1.

Se agrega la restricción en $dPdT$ a las máquinas y se prueba modelar un actor térmico simple en el SimSEE para observar distintos resultados partiendo de la sala semanal VATES. La misma cuenta con paso semana. Se usa un paso horario.

Se hace uso de la herramienta SimSEE versión 213 para la modificación, simulación/optimización y visualización de la sala, contando con las herramientas del SimSEE: SimSEEdit, SimSEESimulador y SimRes3, respectivamente.

Para programar -debuggear y agregar la restricción a otros actores- se usa la IDE Lazarus Pascal, así como SVN y GIT para control de versiones.



3. Aplicación del proyecto.

3.1. Motivación

El objetivo principal del proyecto es dar un puntapié inicial de cara a agregar una cota en la derivada de la potencia a todos los actores térmicos, lo que podría eventualmente -en el modelo más complejo- suplantar a algunos de los estados del modelo del ciclo combinado haciéndolo más rápido.

Si bien no se pretende reemplazar el modelo de máquinas de estados del ciclo combinado, sí se desea observar qué mejoras se le podrían hacer al modelo simplificado que se encuentra en VATES CP.

Ya que un actor térmico --con o sin mínimo técnico y restricciones en la derivada de la potencia-- no modela bien al ciclo combinado, es necesario plantear los casos en que puede ayudar, y en dichos casos cómo es necesario configurar al actor.

3.2. Aplicación

a) Tiempo de encendido.

Ya que existe un transitorio en el ciclo combinado --según el modelo de la máquina de estados visto en el curso son 3 horas de purga y 2 horas de toma de carga de turbina de gas--, se observa que el modelo que corre en el VATES CP no modela estos eventos y se ve cuantizada su generación, como se observa en la figura 1. Por tanto, el aumento de potencia parece más fuerte que otras máquinas que tampoco cuentan con dPdT. Esto es debido a que el costo de producir a pleno es mucho menor al mínimo técnico, y por ende el optimizador decide despachar solo a máxima potencia ya sea para el ciclo abierto o combinado, y esto no modela bien la máquina.

Utilizando un dPdT se puede exigir que la derivada de la potencia máxima sea tal que

para generar a pleno se demore 5 horas con un aumento máximo de la potencia. Este modelo tampoco es perfecto ya que durante esas 5 horas se estaría generando más energía en el aumento progresivo de la potencia que el ciclo en su purga y toma de carga: este efecto se puede observar en la figura 2.

b) Potencia generada.

Los cálculos de la energía generada en dicho transitorio para el caso de Ciclo combinado y térmico básico con dPdT (figura 2):

$$E_{TransitorioCC} = P_{mt}5h + (P_{pc} - P_{mt})2h/2 \quad (1)$$

$$E_{TransitoriodPdT} = 5h(P_{pc})/2 \quad (2)$$

donde P_{mt} es potencia en el mínimo técnico y P_{pc} es la potencia a plena carga.

Si el mínimo técnico es 120MW, se supone el caso de dos turbinas de gas para combinar a una turbina de vapor al mismo tiempo, y la máxima potencia despachable es 500MW (combinado), entonces la energía generada en ambos casos sería:

$$E_{TransitorioCC} = 980MWh \quad (3)$$

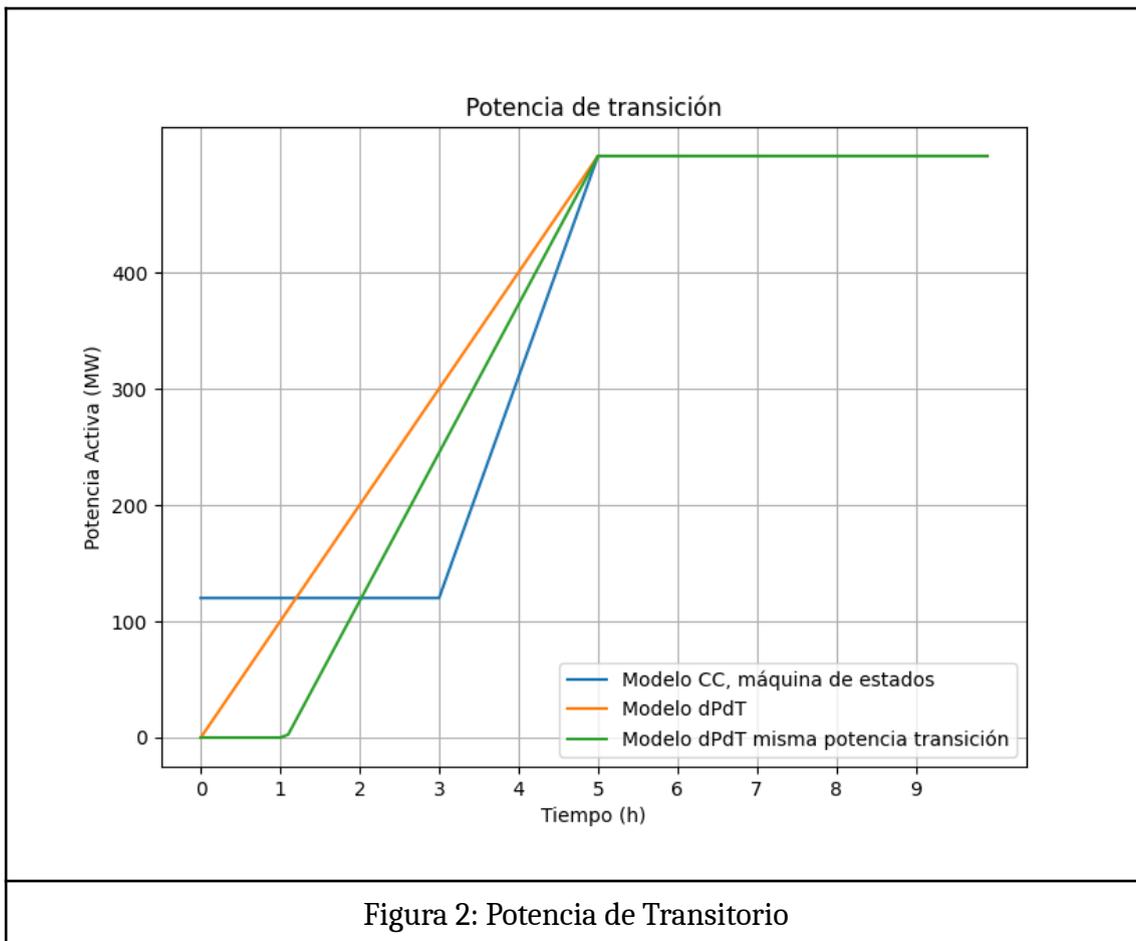
$$E_{TransitoriodPdT} = 1250MWh, \quad (4)$$

por lo tanto en el tiempo del transitorio se estaría sustituyendo a otro generador que en la realidad despachará esa diferencia (270MWh). Se propone entonces, cuando se quiere calcular el costo total de generación, cambiar el tiempo para que el transitorio genere la misma energía en ambos casos. Para ello se despejan las ecuaciones (1) y (2) imponiendo ambas energías como iguales y se llega a la ecuación

$$horas_{para_misma_energia} = 2 \left(\frac{5hP_{mt}}{P_{pc}} + \frac{(P_{pc} - P_{mt})}{P_{pc}} \right), \quad (5)$$

por lo que la restricción dPdT debería ser:

$$dPdT = \frac{P_{pc}}{horas_{para_misma_energia}} \quad (6)$$



4. Metodología.

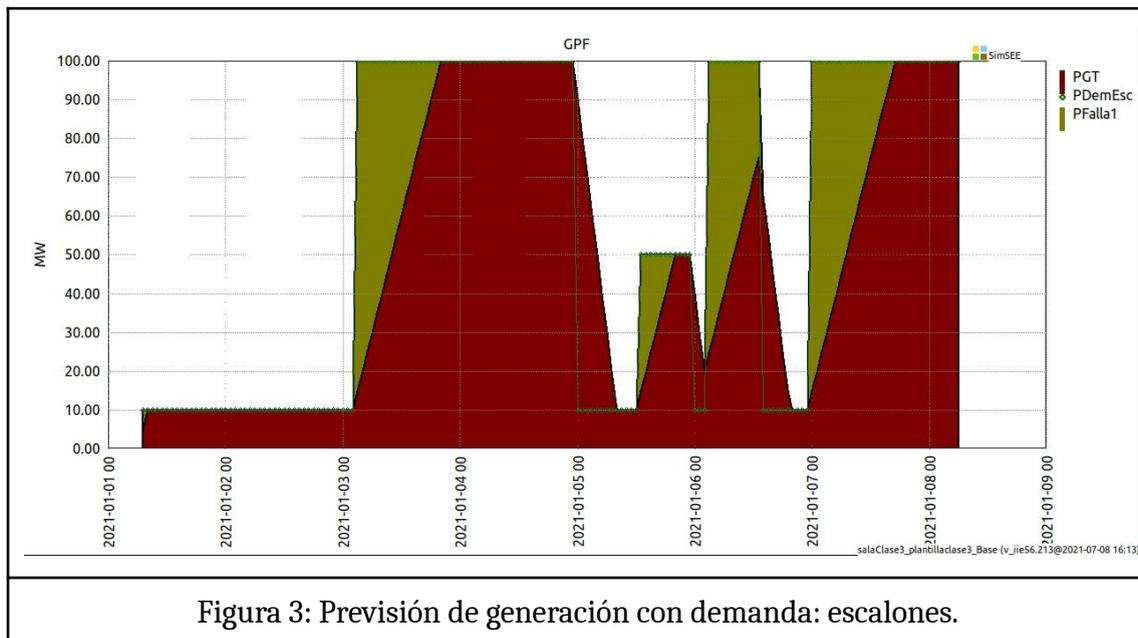
Se utiliza un generador térmico básico con limitación de la derivada de la potencia. Esta limitación es una nueva *feature* que el grupo está probando en el simulador.

Procedimiento para alcanzar los objetivos planteados:

- Tomar al actor más simple del SimSEE, que ya tiene al dPdT y probarlo
 - Con ese actor, ver que cambia con dPdT activado en comparación con no activado.
 - Usar una sala con paso horario común con una máquina y una demanda, y dP/dT no más de 10% en 1h para poder observar su efecto gráficamente.
- Bajar sala de VATES
 - Cambiar el Ciclo combinado por un térmico simple con dPdT.
 - Generar una comparación razonable.
 - Observar los cambios.
- Después de probarlo en el primer actor probar agregar la *feature* (dPdT) a térmica con ON/OFF por paso.

5. Resultados del estudio.

Se observa en la figura 3 el resultado de simular varios escalones en una demanda. Se visualiza un incremento de la potencia generada desde el momento en que comienza el escalón. Uno imagina que la optimización generaría que se dé un caso económicamente más favorable donde se observe que la máquina enciende antes entregando energía al sumidero para no asumir así el costo de falla. Para probar esta hipótesis se aumenta el costo de falla por uno varios órdenes de magnitud mayor al anterior, obteniendo el mismo resultado.



El optimizador está hecho para optimizar en un espacio de variables de estado y la idea detrás del generador térmico con dPdT es excluir las variables de estado de la optimización para que no generen que la simulación se enlentezca demasiado. Para el caso con una sola máquina térmica simple con dPdT, no hay estados, y por ende, el optimizador observa esto y no ejecuta nada. Se ensaya utilizar además utilizar un hidráulico y demanda de escalón simplificando una sala VATES para que haya térmico simple con dPdT e hidráulico, se observa que no cambia esta política de operación en la figura 4.

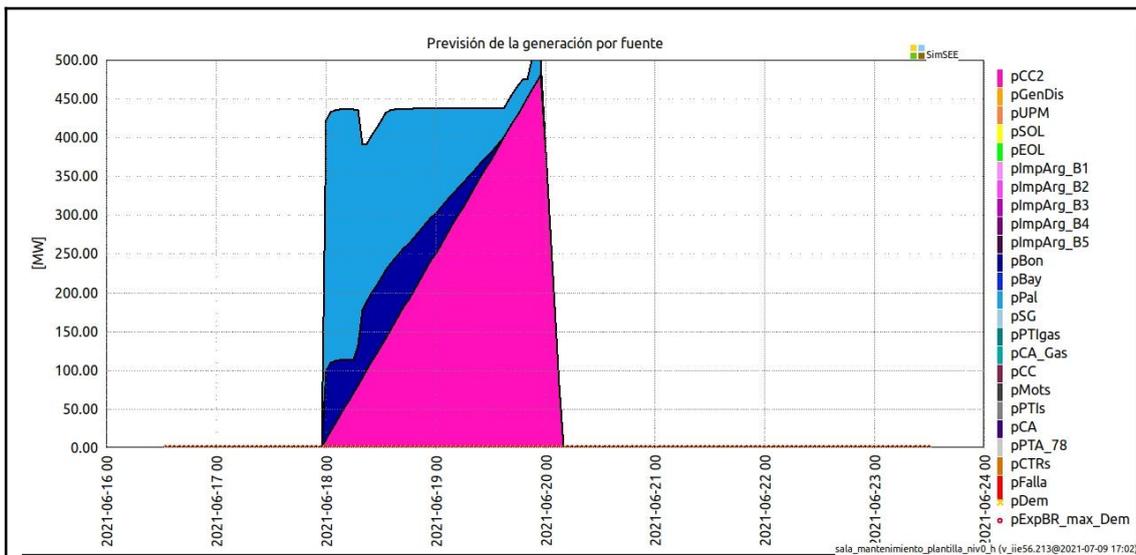


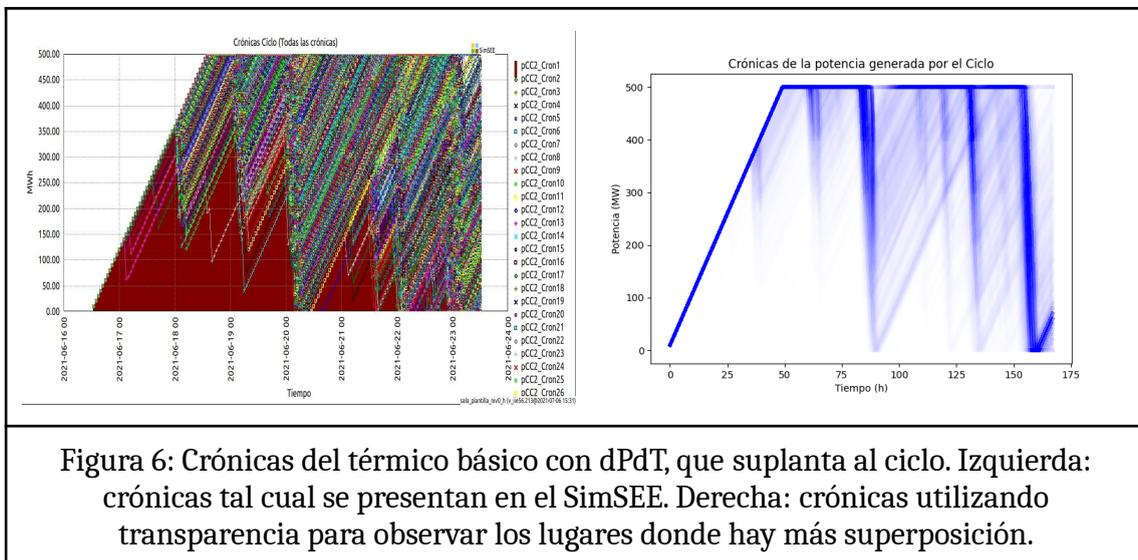
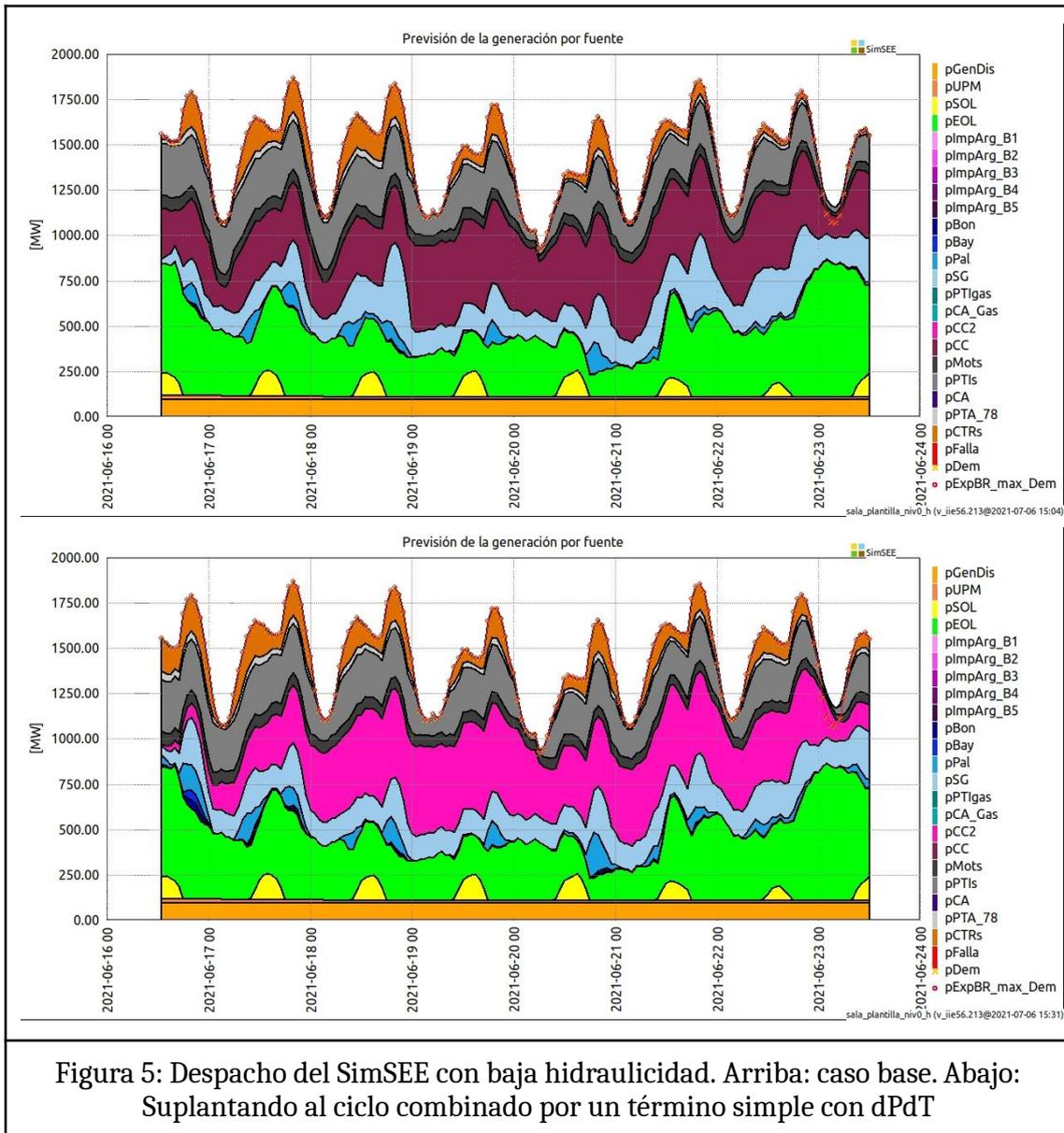
Figura 4: Demanda en escalón en 500MW. Todo en mantenimiento salvo hidráulicas y térmico simple con dPdT.

El optimizador toma en cuenta el precio y genera un orden de mérito basado en los costos de generación y costo futuro de los recursos. Pero no está preparado para encender una máquina antes para evitar un gasto futuro en caso de falla. Esto es lógico ya que las máquinas del SimSEE no tienen restricción dPdT y las máquinas en general tienen cotas inferiores (mínimo técnico), pero la única cota superior es la potencia máxima, por esto en el SimSEE no ha tenido sentido hacer este tipo de optimización antes.

VATES CP:

En la figura 5 se visualiza a la sala VATES semanal con un cambio en las cotas de los embalses para que haya baja hidraulicidad, se observa en la misma la diferencia entre utilizar al ciclo combinado del VATES CP y un generador térmico simple con dPdT. Se observa como cambia la política de operación del agua teniendo un dPdT en el uso del agua, que es diferente en ambos casos, a pesar de contar con exactamente la misma sala, salvo por el cambio antes mencionado.

No se observa en la figura 5 que se generen situaciones extremadamente desfavorables como en el caso de la figura 3. Sin embargo, no es posible tampoco una comparación justa ya que siempre va a ser más caro el caso con dPdT porque introduce más restricciones, que, generan por ejemplo, la necesidad de utilizar el agua de salto grande más temprano encareciendo así el costo a futuro. Sin embargo el segundo escenario (y más caro) es también el más realista para el caso del ciclo combinado, ya que no puede saltar de 0 a 500MW en una hora como lo hace el VATES CP y se observa en la figura 1.



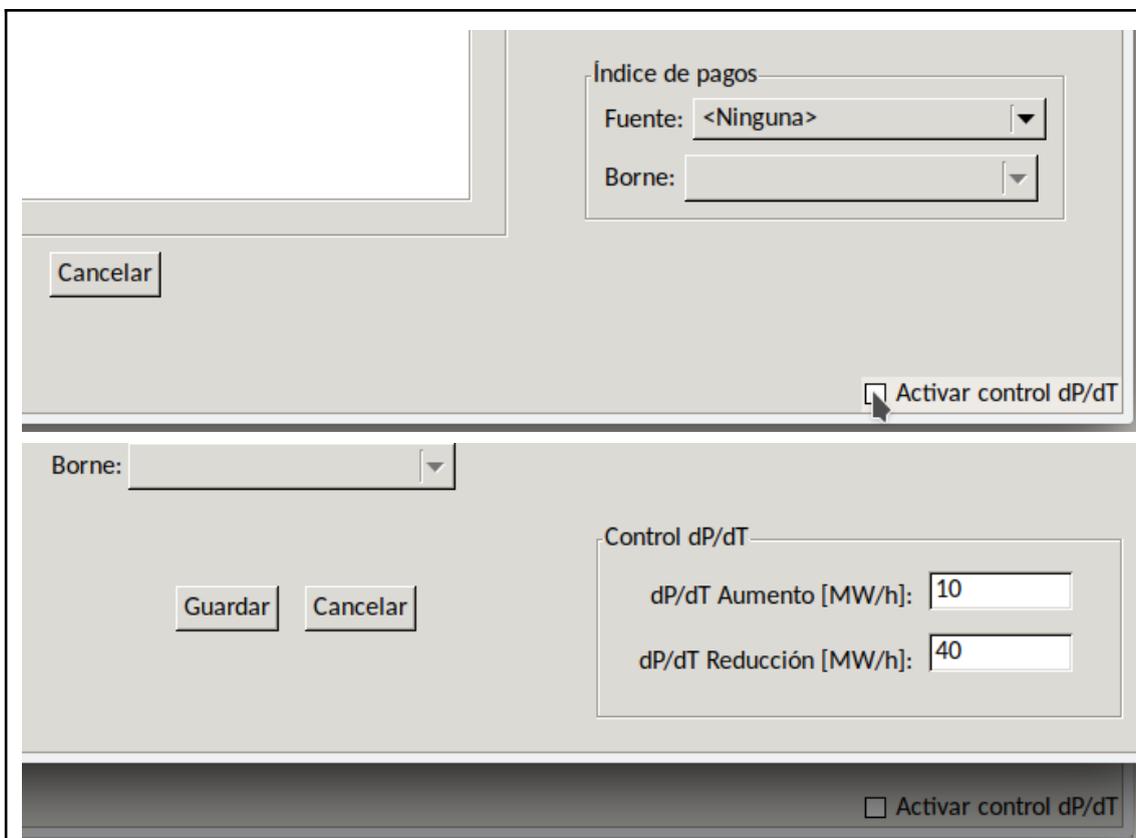
En la figura 6 se observan las crónicas del generador térmico básico que se ensayo utilizar en lugar de ciclo combinado. Se puede comparar con la figura 1, ya que son exactamente la misma sala, con la salvedad de que se suplanta una máquina por la otra. Se observa la imposibilidad de generar de inmediato la máxima potencia. Esto se refleja en el uso del agua, y se visualiza en la figura 4, como se mencionó anteriormente.

6. Modificaciones a SimSEE

Agregado de control dPdT a generador térmico simple

El control dPdT para un generador térmico simple (presente en SimSEE al comienzo del trabajo) se basa en dos *settings*: global (de máquina) y de ficha (ver figura 7). El primero activa una bandera presente en la clase TActor que indica que para ese actor debe considerarse control dPdT (*flg_Activar_dPdT*); si está desactivada (valor por defecto) el actor se comporta sin restricciones dPdT.

El segundo actúa en las fichas de la máquina y permite especificar valores separados para aumento y reducción máximos de potencia, siendo valores de tipo tasa de cambio en la potencia (MW/h).



The image shows two overlapping windows from the SimSEE software interface. The top window, titled 'Índice de pagos', contains a 'Fuente:' dropdown menu with '<Ninguna>' selected and an empty 'Borne:' dropdown menu. It features a 'Cancelar' button on the left and a checkbox labeled 'Activar control dP/dT' on the right. The bottom window, titled 'Control dP/dT', also has a 'Borne:' dropdown menu. It includes 'Guardar' and 'Cancelar' buttons on the left. On the right, there are two input fields: 'dP/dT Aumento [MW/h]' with the value '10' and 'dP/dT Reducción [MW/h]' with the value '40'. At the bottom right of this window is another checkbox labeled 'Activar control dP/dT'.

Figura 7: Controles global (arriba) y de ficha (abajo) dPdT para un generador térmico básico.

La lógica del control reside mayormente en los procedimientos `Sim_Paso_Fin` y `opt_fijarRestriccionesDeCaja` de la clase `TGTer_Basico`.

En `Sim_Paso_Fin`, ejecutado al finalizar cada paso de simulación, interesa almacenar la potencia que la máquina entregó en ese paso con el fin de, al ejecutar el Simplex en el siguiente paso, poder establecer restricciones para que la nueva potencia entregada no difiera en más de lo permitido según el control dPdT. Para ello, se usa la variable `Control_dPdT_P_ant_` de la clase `TActor` donde se almacena la potencia media despachada en ese paso.

En tanto, en `opt_fijarRestriccionesDeCaja`, se lee esta variable (almacenada al final del paso anterior) y se computa el máximo y el mínimo de la potencia a entregar para mantenerse dentro de los límites dados por aumento y reducción dPdT máximos. De ser estos más restrictivos se pasan al simplex en lugar de los mínimos y máximos usuales (que corresponden al máximo de la máquina y el valor 0, dado que el generador térmico básico no cuenta con opción de mínimo técnico).

Con estas modificaciones se logra el control dPdT deseado para esta máquina, como se puede apreciar en la figura 4 donde la máquina térmica básica presenta una rampa en la potencia entregada.

Agregado de control dPdT a generador térmico on/off por paso

Como parte del trabajo, se emula el control agregado al generador térmico básico para el generador *on/off* por paso.

Las modificaciones que se hacen son:

- En el formulario de edición de ficha de este generador, se agrega una sección dPdT idéntica a la correspondiente al generador térmico básico, que opera de la misma manera (agregando estos dos datos a la sala).
- El procedimiento `Sim_Paso_Fin` se cambia de la misma que en el caso básico, para almacenar la potencia entregada en el último paso de simulación.
- El procedimiento `opt_fijarRestriccionesDeCaja` se altera de forma que compute los máximos y mínimos admisibles y los pase al procedimiento Simplex de manera similar que en el caso básico.
- Los procedimientos `optx_nvxs`, `PosicionarseEnEstrellita`, `AcumAux1` y `SetAux1` son copiados *verbatim* desde el térmico básico.

Una diferencia importante con el caso térmico básico es la presencia de un *mínimo técnico* en este tipo de generador: a diferencia del caso básico, el generador no puede tener una rampa enteramente dictada por el nuevo control dPdT, sino que debe respetar el mínimo técnico de la máquina, su potencia saltando de 0 a este mínimo exclusivamente.

Esto se logra verificando que la variable `Control_dPdT_P_ant_` no tenga un valor nulo. En este caso, las restricciones que se imponen toman en cuenta que la máquina pueda saltar a un valor arbitrario.

Puede argumentarse que un valor posible para restringir para este caso fuera que, si la máquina no está entregando energía, pueda solamente cambiar a su mínimo técnico y no arbitrariamente, estando obligada a operar con una rampa desde este valor. Esta

discusión está pendiente y debe observarse qué comportamiento se desea modelar (o si este es el mecanismo válido para hacerlo) antes de contestar si esta restricción es correcta o debe optarse por otra.

El código de cambio para on/off por paso se almacena en una branch git de gitlab fing, para posterior discusión sobre incluirla en el proyecto principal (<https://gitlab.fing.edu.uy/ignacio.nin/simsee/-/tree/onoffporpaso>)

Problemas encontrados

De seguirse el enfoque de agregarse selectivamente a cada máquina térmica (u otras) el control dPdT como lo hecho en las máquinas básica y on/off por paso, se estará replicando mucho código idéntico innecesariamente.

Lo mejor para minimizar la cantidad de código agregado sería derivar la lógica de final de paso de la clase `TGTer`, en lugar de aplicarla en las subclases, de forma de que todas las máquinas térmicas almacenen la potencia despachada al finalizar el paso.

De la misma manera, las restricciones de caja relativas a dPdT pueden almacenarse en un procedimiento que acepte los máximos y mínimos *sin aún aplicar restricciones dPdT*, y los devuelvan refinados según dPdT, cuando corresponda. Así se minimiza el trabajo de deduplicar código a la vez que se hace lo propio con el código futuro.

También es tedioso agregar controles dPdT a todos los formularios de edición de ficha, por lo que sería conveniente que las fichas también derivaran de una clase de ficha común, donde las diferencias entre máquinas se muestran o dejan de mostrar según la máquina en particular soporte cada una, de forma dinámica al mostrar el formulario. Por ejemplo, la sección de control dPdT (figura 7, inferior) puede estar no visible por defecto, poniéndose visible dinámicamente para cada máquina que la soporte.

7.Posibles futuros trabajos.

De este estudio salen como resultado más interrogantes que respuestas. Lo que genera una interesante perspectiva a futuro de seguir por esta línea. Cómo primera acción se podría integrar la cota de la variación de potencia “dP/dT” a varios generadores térmicos en el simulador en particular al ciclo combinado.

Una de las posibilidades sería introducir en el módulo `optsim`, es decir, en el encargado de simular y optimizar al `simsee`, la posibilidad de hacer optimización en el tiempo para los actores con inercia temporal que generen un dPdT, para obtener mejores resultados que los visualizados en la figura 3.

Otra interrogante que abre, es la necesidad de un ensayo más exhaustivo de la máquina de ciclo combinado, en particular se abre la pregunta de si el SimSEE logra generar una política óptima, o tiene algunas limitaciones en considerar las variables de estado temporales. Para este caso se deben diseñar ensayos para visualizar el funcionamiento, y en caso de que no sea favorable rediseñar el simulador en conjunto con lo mencionado en el punto anterior.

Anexo: Procedimiento para suplantar un actor en la sala VATES.

Para el caso en que el actor a modificar es el ciclo combinado.

La última sala VATES se puede bajar de la página web de adme, en la url: <http://latorre.adme.com.uy/vates/>. Luego se pasa a modificar la misma sala utilizando el SimSEEdit.

Se le agregó el actor con nombre Combinado2. El cuál se puede agregar en Actores/Térmicas/Importar un actor. Ya puede estar empaquetado, en cuyo caso tendría una extensión .act, por ejemplo utilizamos uno con el nombre TGTer_Basico_Combinado2.act.

Luego al actor Combinado se le agrega en "Editar Unidades Disponibles" una ficha que diga que están en mantenimiento las 3 unidades. Se debe recordar que cada ficha "sobreescribe" a la anterior en el tiempo, por ende debe utilizarse una fecha posterior a la última fecha utilizada en las fichas de mantenimiento.

Luego se procede a hacer modificaciones en el SimRes3 para poder visualizar a dicho actor:

- Se incluye Índice crónico Idx_P_CC2
- Se agrega variable crónica pCC2
- En: Operaciones Crónica suma: Idx_P_CC2 en pCC2
- En Impresión de Variables Crónicas:
 - En "Previsión de generación por fuente" se agrega la variable crónica pCC2

Anexo: Procedimiento para compilar el SimSEE.

Una vez modificado el actor de interés, por ejemplo, para el generador térmico básico hay que modificar a `ugter_basico.pas`. Hay que compilar el SimSEE para poder visualizar los cambios, ya que el lenguaje en el que se programa es pascal y el mismo es compilado.

Para compilar el SimSEE hay que compilar 3 binarios distintos. SimSEEEedit, SimRes3 y SimSEESimulador. Para cada uno de los mismos hay que entrar al archivo del proyecto, que tiene extensión `lpi`, y compilar cada uno de los proyectos.

Los `lpi` de SimSEEEedit, SimRes3 y SimSEESimulador respectivamente están en:

- `trunk/ap/editor/SimSEEEedit.lpi`
- `trunk/ap/optsim/SimSEESimulador.lpi`
- `trunk/ap/SimRes3/SimRes3.lpi`

Una vez abierto un proyecto, para compilarlo se utiliza la herramienta “change build mode”, y se cambia el modo a “Release”. Luego en el menú “Run/Clean up and Build...”, se compilará el programa, primero limpiando a los archivos que pudieran haber quedado de una compilación anterior y luego efectuando la compilación propiamente dicha.