

Efecto del derating de temperatura sobre centrales térmicas básicas y ciclos combinados

Grupo 3:

Autores: Jose Galindez y Jose Pereira

Instituto de Ingeniería Eléctrica - FING.
Trabajo final curso SimSEE edición 2022
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.

Objetivo.	4
Metodología.	4
2.1 Efecto derating y su importancia en el SimSEE.	4
2.2 Edición del código fuente SimSEE.	6
2.2.1 Edición del actor de fuentes comunes.	6
2.2.2 Edición de la fuente de los actores.	9
2.2.3 Edición de la ficha de parámetros dinámicos del actor.	11
2.3 Desarrollo de sala SimSEE.	13
2.3.1 Modificación de actores.	14
2.3.2 Creación de fuentes.	15
2.3.3 Configuración del SimRes3:	17
2.3.3.1 Configuración del gráfico “Comparación de Temperaturas”.	18
Definición de índices:	18
Variables crónicas:	18
Operaciones Crónicas:	18
Post Operaciones:	18
Impresión de Variables Crónicas:	19
2.3.3.2 Configuración del gráfico “Generación Promedio PTA_GO”.	19
Definición de índices:	19
Variables crónicas:	19
Operaciones Crónicas:	20
Post Operaciones:	20
Impresión de Variables Crónicas:	20
2.3.3.3 Configuración del gráfico “Generación Promedio PTA_78”.	21
Definición de índices:	21
Variables crónicas:	21
Operaciones Crónicas:	21
Post Operaciones:	21
Impresión de Variables Crónicas:	21
2.3.3.4 Configuración del gráfico “Generación Promedio CC_GO”.	22
Definición de índices:	22
Variables crónicas:	22
Operaciones Crónicas:	22
Post Operaciones:	22
Impresión de Variables Crónicas:	23
2.3.3.5 Configuración del gráfico “Promedio de Operación Hidráulicas vs Temperatura Derating”.	23
Definición de índices:	23
Variables crónicas:	23
Operaciones Crónicas:	24
Post Operaciones:	24
Impresión de Variables Crónicas:	24

2.3.3.6 Configuración del gráfico “Costo Variables de los recursos vs Temperatura Derating”.	25
Definición de índices:	25
Variables crónicas:	25
Operaciones Crónicas:	25
Post Operaciones:	26
Impresión de Variables Crónicas:	26
Resultados del estudio.	27
3.1 Gráfico “Comparación de Temperaturas”.	27
3.2 Gráfico “Generación Promedio PTA_GO”.	28
3.3 Gráfico “Generación Promedio PTA_78”.	28
3.4 Gráfico “Generación Promedio CC_GO”.	29
3.5 Gráfico “Costo Variables de los recursos vs Temperatura Derating”.	30
3.6 Gráfico “Promedio de Operación Hidráulicas vs Temperatura Derating”.	31
Conclusiones.	32
4.1 Gráfico “Comparación de Temperaturas”.	32
4.2 Gráficos: “Generación Promedio PTA_GO” y “Generación Promedio PTA_78”.	32
4.3 Gráficos “Generación Promedio CC_GO”.	32
4.4 Gráfico “Promedio de Operación Hidráulicas vs Temperatura Derating”.	32
4.5 Gráfico “Costo Variables de los recursos vs Temperatura Derating”.	33
Posibles futuros trabajos.	33

1.Objetivo.

Modificar el código fuente del programa SimSEE con la finalidad de que los actores: “Térmico Básico” y “Térmico Combinado”, puedan representar los cambios en la potencia máxima de generación en función a los cambios de temperatura ambiente.

2.Metodología.

En esta sección se describe siguiendo la secuencia en la que fue desarrollado el proyecto, la metodología utilizada para agregar la corrección por temperatura de la potencia máxima para actores de tipo térmico básico y térmico combinado. Explicando inicialmente como las condiciones ambiente afectan a los generadores térmicos, haciendo énfasis en generadores que posean turbinas de gas, las modificaciones necesarias en el código fuente SimSEE para poder realizar el cálculo respectivo, la modificación en la interfaz para los actores térmicos correspondientes y sus fichas, así como también la selección y modificación de una sala de estudio para realizar los ensayos pertinentes .

2.1 Efecto derating y su importancia en el SimSEE.

El derating hace referencia en como las condiciones ambientales pueden afectar la capacidad de generación de un equipo, puesto que, la potencia nominal de un generador en la mayoría de las veces está asociada a condiciones ISO (International Standard Organization), temperatura ambiente de 15 °C, presión atmosférica de 1.013 bar y una humedad relativa de 60%, cualquier condición ambiental fuera de estos parámetros afectará su capacidad de generación.

Las centrales térmicas con turbinas de gas son afectadas por las condiciones ambientales, debido a que son generadores que poseen un compresor, el cual funciona con aire y por lo tanto su funcionamiento es afectado por la densidad y masa de aire que ingresa al mismo.

Desde un punto teórico, si realizamos un análisis de balance de energía de un esquema simplificado de una turbina a gas cualquiera, podemos desarrollar la siguiente ecuación. En esta es de importante la mención del flujo del másico de aire que entra a la turbina, este flujo es directamente proporcional a la densidad del aire atmosférico. Además, esta variable , como se menciona previamente, depende de varios parámetros atmosféricos como lo son la presión, la humedad relativa y la temperatura ambiente, este último parámetro es el que proporcionalmente afecta en mayor medida la densidad del aire y en consecuencia es inversamente proporcional a el flujo másico y a la potencia neta que puede generar la turbina. en la **Figura 1.** se puede apreciar el esquema de donde se partió para realizar el análisis termodinámico explicado previamente.

$$\dot{W}_{Neto} = \dot{W}_{Turbina} - \dot{W}_{Compresor} = \dot{m}_{aire}(h_{aire}) + \dot{Q}_{Combustion} - \dot{m}_{escape}(h_{escape})$$

Donde:

$\dot{W}_{Neto}$: Potencia Neta.

$\dot{W}_{Turbina}$: Potencia generada por la turbina.

$\dot{W}_{Compresor}$: Potencia consumida por el compresor.

$\dot{m}_{aire}$: Flujo masico de entrada de aire.

h_{aire} : Entalpia de flujo de aire.

$\dot{m}_{escape}$: Flujo masico de gases de escape.

h_{escape} : Entalpia de flujo de escape.

$\dot{Q}_{Combustion}$: Flujo de calor transferido a través de la reacción exotérmica de combustión.

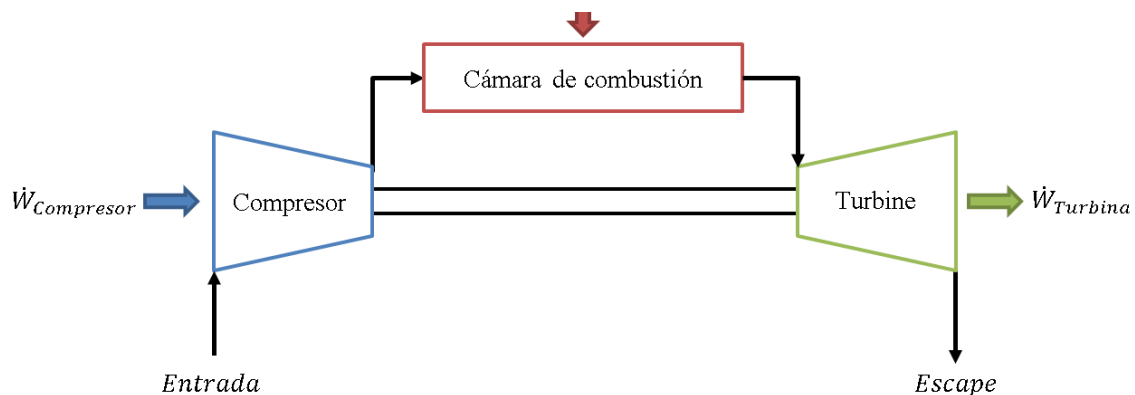


Figura 1: Esquema simplificado de ciclo Brayton abierto.

Cada modelo de turbina posee una curva característica, en la cual se puede observar el comportamiento de parámetros fundamentales en función a la temperatura. Entre estos parámetros podemos encontrar la temperatura de los gases de escape (Exhaust Temperature), flujo de gases de escape (Exhaust Flow), potencia de salida (Power Output) y consumo específico de calor (Heat Rate). Siendo el de importancia de estudio la potencia de salida, la cual incrementa con bajas temperaturas y disminuye con altas temperaturas.

Debido a las variaciones de las condiciones ambientales que se pueden observar en Uruguay a lo largo del año, e inclusive durante un mismo día, se vuelve de gran importancia poder conocer con mayor exactitud la capacidad máxima de generación de centrales térmicas que posean este tipo de generador, y así lograr una mejor planificación al momento de desarrollar el despacho energético.

El programa SimSEE no toma en consideración el efecto de la temperatura

ambiente sobre la potencia máxima que son capaces de generar las centrales térmicas, por lo que los pronósticos de despacho no son tan precisos como pudieran llegar a ser.

2.2 Edición del código fuente SimSEE.

2.2.1 Edición del actor de fuentes comunes.

Para poder evaluar los efectos de la temperatura sobre la potencia máxima de los generadores “Térmico Básico” y “Térmico Combinado”, se hace uso de una curva característica correspondiente a una turbina a gas (**Figura 2**).

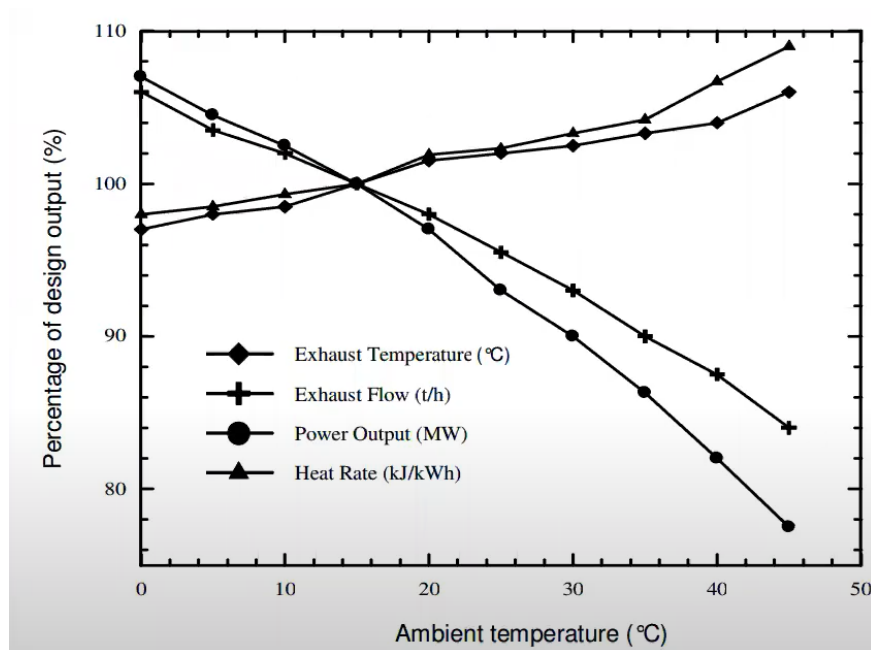


Figura 2: Curva característica del efecto de Derating de Temperatura correspondiente a una turbina a gas.

En la imagen se puede observar el comportamiento de la potencia de salida (Power Output) representada como un valor porcentual de su valor de diseño en función a la temperatura, se puede observar que para una temperatura ISO (15 °C) el valor porcentual correspondiente es del 100% (valor de diseño).

Para poder implementar entonces el efecto de derating dentro del SimSEE para los generadores térmicos, se debe parametrizar la curva de la potencia de salida en función a la temperatura ambiente y un factor de potencia unitario, para ello esta curva será descrita como un polinomio de segundo grado (parábola) definida mediante 3 puntos de la misma.

Estas dos variables son definidas en la ficha propia del actor correspondiente como atributos persistentes y como una función TDAofReal. Las variables de temperatura y factor de potencia unitario son nombradas como “*derating_temp*” y “*derating_P_pu*” respectivamente.

En el SimSEE, los generadores térmicos como los motores también son definidos dentro de la categoría “Térmico Básico”, pero estos generadores térmicos no

se comportan de igual manera que una turbina de gas antes los cambios de temperatura, por lo que se hace necesario poder seleccionar cuándo aplicar el efecto derating, para ello dentro de los mismos atributos persistentes del generador se define la función “*derating_flgAplicar*” como boolean, cómo se logra observar en **Figura 3**.

```
TFichaGTer_Basico = class(TFichaLPD_gter)
public
    derating_flgAplicar: boolean;
    derating_temp: TDAOofNReal;
    derating_P_pu: TDAOofNReal;
```

Figura 3: Introducción de las variables asociadas al Derating de Temperatura.

Estas variables además son definidas en la función que describe la persistencia de parámetros dinámicos “*Rec*” de dicho generador, en el cual se define a partir de cual versión del SimSEE dichas variables entran en funcionamiento. Ver **Figura 4**.

```
.
.
275 result.addCampoDef( 'derating_flgAplicar', derating_flgAplicar, 228, 0, 'F' );
. result.addCampoDef( 'derating_temp', derating_temp, 228 );
. result.addCampoDef( 'derating_P_pu', derating_P_pu, 228 );
.
```

Figura 4: Definición de las variables relacionadas con el Derating de Temperatura.

Se debe crear además, una función que nos permita calcular el factor de derating, mediante la curva característica del generador y los valores de temperatura ambiente pronosticados. Para ello dicha función queda definida como:

function *factor_DeratingTemp*(*tGrC*: *NReal*): *NReal*;

La función *factor_DeratingTemp*, se define como una función de un polinomio de segundo orden, la cual dependerá de la curva característica y la temperatura ambiente.

La función corresponde a la ecuación de una parábola de la siguiente forma:

$$y = Ax^2 + Bx + C$$

donde:

y: Factor de derating.

x: Temperatura ambiente.

A, *B* y *C*: Coeficientes asociados a la curva característica.

Los coeficientes *A*, *B* y *C* son calculados de forma genérica, haciendo uso de 3 puntos de coordenadas (x_0, y_0) ; (x_1, y_1) ; (x_2, y_2) correspondientes a la curva característica, obteniendo así un sistema de 3 ecuaciones con 3 incógnitas.

Resolviendo el sistema de ecuaciones se logra entonces definir los coeficientes en función del factor de potencia y temperatura, en la **Figura 5** se muestra dentro del código fuente la ecuación correspondiente a cada coeficiente así como la ecuación que permite calcular el factor derating.

```

335 function TFichaGTer_Basico.factor_DeratingTemp(tGrC: NReal): NReal;
336 begin
337     // A (derating_P_pu[1]-derating_P_pu[2]-B*(derating_temp[1]-derating_temp[2]))/(sqr((
338     // B ((derating_P_pu[0]-derating_P_pu[1])*(sqr(derating_temp[1])-sqr(derating_temp[2]
339     // C derating_P_pu[2]-(A*sqr(derating_temp[2])))-(B*derating_temp[2])
340     // result = (sqr(tGrC)*(A)+(tGrC)*(B)+(C)
341     result:=(sqr(tGrC)*((derating_P_pu[1]-derating_P_pu[2]-((sqr(derating_P_pu[0]-derating_P

```

Figura 5: Visualización de código fuente de los coeficientes que determinan la curva del factor derating.

Una vez definidas las variables a ingresar y la función que permitirá realizar el cálculo del factor derating, es necesario definir cómo obtener las distintas temperaturas que serán sustituidas en la ecuación para cada instante de tiempo.

En la ficha del actor respectivo, en los parámetros persistentes del mismo, se debe definir la fuente de temperatura como una fuente aleatoria y un borne conectado a dicha fuente en forma de string. Ver **Figura 6**.

```

    .
    .   fuenteTemperatura: TFuenteAleatoria;
    .   NombreBorneTemperatura: string;
    .   kBorneTemperatura: integer;
120

```

Figura 6: Definición de los parámetros persistentes asociados a la fuente aleatoria de temperatura .

De igual forma que las variables “*derating_temp*” y “*derating_P_pu*”, las variables de “*fuentesTemperatura*” y “*NombreBorneTemperatura*” deben ser definidas en la función “Rec” del actor así como se observa en la **figura 7**.

```

.
.
. function TGTer_Basico.Rec: TCosa_RecLnk;
. begin
.   Result := inherited Rec;
390   Result.addCampoDef_ref('fuenteTemperatura', TCosa(fuenteTemperatura), Self, 228 );
.   Result.addCampoDef('NombreBorneTemperatura', NombreBorneTemperatura, 228 );
. end;

```

Figura 7: Definición de las variables relacionadas con la fuente de temperatura aleatoria en la función que describe la persistencia de los parámetros dinámicos.

Posteriormente el actor debe ser capaz de resolver cuál es el borne de temperatura para poder leerlo, esto se logra anexando una función “if” al procedimiento de “Preparar Memoria”. Ver **Figura 8**.

```

. procedure TGTer_Basico.PrepararMemoria(Catalogo: TCatalogoReferencias; globs: TGlobs);
410 begin
.     inherited prepararMemoria(Catalogo, globs);
.
.     setlength(P, globs.NPostes);
.     SetLength(costos, globs.NPostes);
415 SetLength(NMaquinasDespachadas, globs.NPostes);
.
.     if fuenteTemperatura <> nil then
.         kBorneTemperatura := fuenteTemperatura.idBorne( NombreBorneTemperatura )
.     else
420 kBorneTemperatura := -1;
. end;

```

Figura 8: Visualización de código fuente donde se muestra como se le otorga la capacidad a el actor de de leer el borne de temperatura.

De esta forma el actor al preparar la memoria, si existe una fuente, es capaz de leer el número de borne asociado a dicha fuente, para el resto de casos el número de borne es -1 lo que significa que no se ha determinado el mismo.

Para finalmente poder asociar la fuente de temperatura a la ecuación del factor derating y así poder estimar la potencia máxima que es capaz de producir el generador en cada instante de tiempo, se debe agregar la función “if” que se puede observar en la **Figura 9** en el apartado de “Preparar Paso”

```

| if pa.derating_flgAplicar then
| begin
|   factor_DeratingTemp:=pa.factor_DeratingTemp( fuenteTemperatura.bornera[ kBorneTemperatura ] );
|
|   PMaxEfectiva:= PMaxEfectiva * factor_DeratingTemp;
|   PMaxDisponible:= PMaxDisponible * factor_DeratingTemp;
| end
| else
|   PMaxEfectiva:= pa.PMax;

```

Figura 9: Visualización de código fuente respecto a la manera en que se relaciona la curva de Derating con el borne de temperatura.

Para este caso, la función lo que establece es que, si se selecciona la condición para aplicar el factor derating, en la ecuación parabólica descrita anteriormente para la obtención de la curva características, se irán sustituyendo valores de temperaturas obtenidas de un borne de una fuente seleccionada, una vez obtenido el factor, se multiplica por la potencia máxima disponible y efectiva, y así obtener la potencia máxima para ese valor de temperatura. En caso de que no se haga uso del factor derating, la potencia máxima se mantiene según lo establecido en la ficha del actor.

2.2.2 Edición de la fuente de los actores.

La modificación de la fuente del actor tiene la finalidad de poder agregar el borne y fuente de temperatura para su posterior uso en la simulación.

El procedimiento se realiza para las fuentes uEditarTGTer, uEditarTGTer_Combinado.

En el editor del formulario se anexa un “GroupBox” con el nombre definido como “Fuente de Temperatura”, donde internamente se añadirán 2 “ComboBox” con sus respectivos “Label”, uno para la selección de la fuente de temperatura y otro para el borne de la fuente. En la **Figura 10** se muestra la forma en que se agregan a la interfaz dichos elementos.

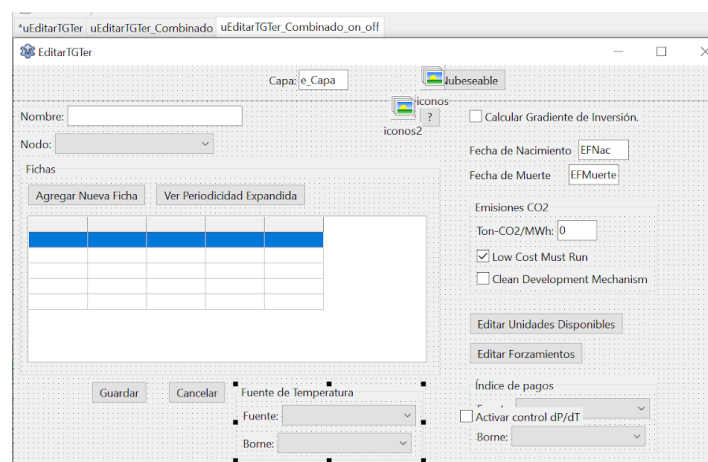


Figura 10: Interfaz de usuario modificada para incluir la fuente y el borne asociado para el cálculo del derating.

Para que esta edición del formulario funcione correctamente, se debe modificar su respectivo código fuente.

Se debe comenzar agregando un procedimiento que permita seleccionar una fuente existente con sus bornes asociados a los “ComboBox” respectivos . Ver **figura 11**.

```
.  
.  
.  
250 procedure TEditarTGTer.cbFuenteTemperaturaChange(Sender: TObject);  
.  
.  
.  
.  
.  
end;
```

Figura 11: Selección de una fuente existente con sus bornes asociados.

El formulario debe ser capaz de relacionar la fuente y el borne seleccionado, con sus variables respectivas definidas en la fuente común del actor, ver **figura 5**, para ello, en el apartado de “Create” se agrega la función “if” que se visualiza en la **figura 12**.

```
constructor TEditarTGTer.Create(AOwner: TComponent; sala: TSalaDeJuego;  
.  
.  
.  
.  
.  
begin  
.  
.  
actor := TGTer(cosaConNombre);  
inicializarComponentesLPD(actor.lpd, TClaseDeGTer(tipoCosa).TipoFichaLPD, sgFichas,  
115 BAgregarFicha, BVerExpandida, BGuardar, BCancelar);  
.  
.  
setCBFuente(CBFuenteIndiceDePrecios, CBBorneIndiceDePrecios,  
.  
actor.fuenteIndicePrecios, actor.nombreBorneIndicePrecios);  
119  
120 if actor is TGTer_Basico then  
.  
setCBFuente( cbFuenteTemperatura, cbBorneTemperatura,  
.  
TGTer_Basico( actor ).fuenteTemperatura,  
.  
TGTer_Basico(actor ).NombreBorneTemperatura );  
.  
.  
end;
```

Figura 12: Visualización de código fuente donde se muestra cómo se relaciona la fuente con el borne seleccionado.

La fuente de temperatura y el borne seleccionado en el formulario, debe guardarse y mantenerse en el tiempo, tanto para cuando se crea un nuevo actor, como para cuando se trabaja en un actor ya creado, para ello en el apartado de “GuardarClick” se agregan 2 funciones “if” que se pueden visualizar en la **figura 13**.

```

175 procedure TEditarTGTer.BGuardarClick(Sender: TObject);
176 .
177 .
178 .
179 .
180 .
181 .
182 .
183 .
184 .
185 .
186 .
187 .
188 .
189 .
190 .
191 .
192 .
193 .
194 .
195 .
196 .
197 .
198 .
199 .
200 .
201 .
202 .
203 .
204 .
205 .
206 .
207 .
208 .
209 .
210 .
211 .
212 .
213 .
214 .
215 .
216 .
217 .
218 .
219 .
220 .
221 .
222 .
223 .
224 .
225 .
226 .
227 .
228 .
229 .
230 .
231 .
232 .
233 .
234 .
235 .
236 .
237 .
238 .
239 .
240 .
241 .
242 .
243 .
244 .
245 .
246 .
247 .
248 .
249 .
250 .
251 .
252 .
253 .
254 .
255 .
256 .
257 .
258 .
259 .
260 .
261 .
262 .
263 .
264 .
265 .
266 .
267 .
268 .
269 .
270 .
271 .
272 .
273 .
274 .
275 .
276 .
277 .
278 .
279 .
280 .
281 .
282 .
283 .
284 .
285 .
286 .
287 .
288 .
289 .
290 .
291 .
292 .
293 .
294 .
295 .
296 .
297 .
298 .
299 .
300 .
301 .
302 .
303 .
304 .
305 .
306 .
307 .
308 .
309 .
310 .
311 .
312 .
313 .
314 .
315 .
316 .
317 .
318 .
319 .
320 .
321 .
322 .
323 .
324 .
325 .
326 .
327 .
328 .
329 .
330 .
331 .
332 .
333 .
334 .
335 .
336 .
337 .
338 .
339 .
340 .
341 .
342 .
343 .
344 .
345 .
346 .
347 .
348 .
349 .
350 .
351 .
352 .
353 .
354 .
355 .
356 .
357 .
358 .
359 .
360 .
361 .
362 .
363 .
364 .
365 .
366 .
367 .
368 .
369 .
370 .
371 .
372 .
373 .
374 .
375 .
376 .
377 .
378 .
379 .
380 .
381 .
382 .
383 .
384 .
385 .
386 .
387 .
388 .
389 .
390 .
391 .
392 .
393 .
394 .
395 .
396 .
397 .
398 .
399 .
400 .
401 .
402 .
403 .
404 .
405 .
406 .
407 .
408 .
409 .
410 .
411 .
412 .
413 .
414 .
415 .
416 .
417 .
418 .
419 .
420 .
421 .
422 .
423 .
424 .
425 .
426 .
427 .
428 .
429 .
430 .
431 .
432 .
433 .
434 .
435 .
436 .
437 .
438 .
439 .
440 .
441 .
442 .
443 .
444 .
445 .
446 .
447 .
448 .
449 .
450 .
451 .
452 .
453 .
454 .
455 .
456 .
457 .
458 .
459 .
460 .
461 .
462 .
463 .
464 .
465 .
466 .
467 .
468 .
469 .
470 .
471 .
472 .
473 .
474 .
475 .
476 .
477 .
478 .
479 .
480 .
481 .
482 .
483 .
484 .
485 .
486 .
487 .
488 .
489 .
490 .
491 .
492 .
493 .
494 .
495 .
496 .
497 .
498 .
499 .
500 .
501 .
502 .
503 .
504 .
505 .
506 .
507 .
508 .
509 .
510 .
511 .
512 .
513 .
514 .
515 .
516 .
517 .
518 .
519 .
520 .
521 .
522 .
523 .
524 .
525 .
526 .
527 .
528 .
529 .
530 .
531 .
532 .
533 .
534 .
535 .
536 .
537 .
538 .
539 .
540 .
541 .
542 .
543 .
544 .
545 .
546 .
547 .
548 .
549 .
550 .
551 .
552 .
553 .
554 .
555 .
556 .
557 .
558 .
559 .
560 .
561 .
562 .
563 .
564 .
565 .
566 .
567 .
568 .
569 .
570 .
571 .
572 .
573 .
574 .
575 .
576 .
577 .
578 .
579 .
580 .
581 .
582 .
583 .
584 .
585 .
586 .
587 .
588 .
589 .
590 .
591 .
592 .
593 .
594 .
595 .
596 .
597 .
598 .
599 .
600 .
601 .
602 .
603 .
604 .
605 .
606 .
607 .
608 .
609 .
610 .
611 .
612 .
613 .
614 .
615 .
616 .
617 .
618 .
619 .
620 .
621 .
622 .
623 .
624 .
625 .
626 .
627 .
628 .
629 .
630 .
631 .
632 .
633 .
634 .
635 .
636 .
637 .
638 .
639 .
640 .
641 .
642 .
643 .
644 .
645 .
646 .
647 .
648 .
649 .
650 .
651 .
652 .
653 .
654 .
655 .
656 .
657 .
658 .
659 .
660 .
661 .
662 .
663 .
664 .
665 .
666 .
667 .
668 .
669 .
670 .
671 .
672 .
673 .
674 .
675 .
676 .
677 .
678 .
679 .
680 .
681 .
682 .
683 .
684 .
685 .
686 .
687 .
688 .
689 .
690 .
691 .
692 .
693 .
694 .
695 .
696 .
697 .
698 .
699 .
700 .
701 .
702 .
703 .
704 .
705 .
706 .
707 .
708 .
709 .
710 .
711 .
712 .
713 .
714 .
715 .
716 .
717 .
718 .
719 .
720 .
721 .
722 .
723 .
724 .
725 .
726 .
727 .
728 .
729 .
730 .
731 .
732 .
733 .
734 .
735 .
736 .
737 .
738 .
739 .
740 .
741 .
742 .
743 .
744 .
745 .
746 .
747 .
748 .
749 .
750 .
751 .
752 .
753 .
754 .
755 .
756 .
757 .
758 .
759 .
760 .
761 .
762 .
763 .
764 .
765 .
766 .
767 .
768 .
769 .
770 .
771 .
772 .
773 .
774 .
775 .
776 .
777 .
778 .
779 .
780 .
781 .
782 .
783 .
784 .
785 .
786 .
787 .
788 .
789 .
790 .
791 .
792 .
793 .
794 .
795 .
796 .
797 .
798 .
799 .
800 .
801 .
802 .
803 .
804 .
805 .
806 .
807 .
808 .
809 .
810 .
811 .
812 .
813 .
814 .
815 .
816 .
817 .
818 .
819 .
820 .
821 .
822 .
823 .
824 .
825 .
826 .
827 .
828 .
829 .
830 .
831 .
832 .
833 .
834 .
835 .
836 .
837 .
838 .
839 .
840 .
841 .
842 .
843 .
844 .
845 .
846 .
847 .
848 .
849 .
850 .
851 .
852 .
853 .
854 .
855 .
856 .
857 .
858 .
859 .
860 .
861 .
862 .
863 .
864 .
865 .
866 .
867 .
868 .
869 .
870 .
871 .
872 .
873 .
874 .
875 .
876 .
877 .
878 .
879 .
880 .
881 .
882 .
883 .
884 .
885 .
886 .
887 .
888 .
889 .
890 .
891 .
892 .
893 .
894 .
895 .
896 .
897 .
898 .
899 .
900 .
901 .
902 .
903 .
904 .
905 .
906 .
907 .
908 .
909 .
910 .
911 .
912 .
913 .
914 .
915 .
916 .
917 .
918 .
919 .
920 .
921 .
922 .
923 .
924 .
925 .
926 .
927 .
928 .
929 .
930 .
931 .
932 .
933 .
934 .
935 .
936 .
937 .
938 .
939 .
940 .
941 .
942 .
943 .
944 .
945 .
946 .
947 .
948 .
949 .
950 .
951 .
952 .
953 .
954 .
955 .
956 .
957 .
958 .
959 .
960 .
961 .
962 .
963 .
964 .
965 .
966 .
967 .
968 .
969 .
970 .
971 .
972 .
973 .
974 .
975 .
976 .
977 .
978 .
979 .
980 .
981 .
982 .
983 .
984 .
985 .
986 .
987 .
988 .
989 .
990 .
991 .
992 .
993 .
994 .
995 .
996 .
997 .
998 .
999 .
1000 .

```

Figura 13: Capacidad de guardar y mantener en el tiempo la fuente y el borne de temperatura seleccionado.

2.2.3 Edición de la ficha de parámetros dinámicos del actor.

La ficha de parámetros dinámicos es la que nos permitirá agregar los puntos (X,Y) que definirán la curva derating asociada al generador.

El procedimiento se realiza para las fichas uEditarFichaTGTer_Basico y uEditarFichaTGTer_Combinado.

Al igual que con la fuente del actor, se debe agregar un “GroupBox” con el nombre definido como “dearting por temperatura”, un “CheckBox” que nos permite seleccionar cuándo aplicar el factor derating y dos “Edit” con sus respectivas identificaciones que nos permitan ingresar las coordenadas correspondientes al factor de potencia unitario y temperatura para definir la curva característica correspondiente del generador. Ver **figura 14**.

Editar Ficha

Fecha:

Capa: Nubeseable

☐ Periódica?

Inicio del horizonte:

Fin del horizonte:

Duración del ciclo:

Parámetros técnicos

Pagos (no considerados en el despacho):

Potencia máxima [MW]:

Pago por potencia [USD/MWh]:

FD [p.u.]:

Pago por energía [USD/MWh]: (Adicional al CV e igual indexación)

TMR [h]:

Cuentas combustibles

☐ EMaxPaso [MWh]:

Combustible

Consumo fu/MW

Costos variables

Costo variable incremental [USD/MWh]:

Costo variable no combustible [USD/MWh]:

Factor de reserva[pu]:

Índice de precios por combustible [p.u. del precio]:

Borne:

Control dP/dT

dP/dT Aumento [MW]

dP/dT Reducción [MW]

Guardar Cancelar

Derating por temperatura

☐ Activar derating por temperatura.

Puntos P (Pu)

Puntos Temp (C)

Figura 14: Muestra de la interfaz de usuario modificada para incluir la opción de derating de temperatura en la ficha de un actor térmico .

Para que la edición de la ficha de parámetros dinámicos funcione correctamente, se debe modificar el código de dicha ficha.

En el apartado “Create” se realiza la modificación para aplicar el factor derating tanto para una ficha ya existente o una nueva. Cuando el “CheckBox” sea seleccionado, es decir, se quiera usar al factor derating para el actor, éste utilizará los valores especificados en los editores de texto correspondientes al factor de potencia unitario como de temperatura para poder crear la curva característica del generador.

Cuando se modifica una ficha ya existente, el “CheckBox” para aplicar el derating mantiene la condición que este poseía anteriormente el actor; los editores de texto correspondientes al factor de potencia unitario y temperatura van a tomar los vectores que posee el actor y los va a poner como lista separados por punto y coma con dos decimales. Ver **figura 15**.

```

135 constructor TEditorFichaGTer_Basico.Create(AOwner: TComponent;
    .
    .
    .   cb_flgActivarDeratingTemp.Checked:= fichaAux.derating_flgAplicar;
    .   ePuntosP_pu.Text:= DAOfnRealToStr (fichaAux.derating_P_pu, 6, 2, ',');
    .   ePuntosT.Text:= DAOfnRealToStr (fichaAux.derating temp, 6, 2, ',');
    .

```

Figura 15: Implementación de parámetros para el derating de temperatura para una ficha ya existente.

En cambio, cuando se está creando una nueva ficha, el “CheckBox” para aplicar el derating por defecto no aparece seleccionado, y los editores de texto correspondientes al factor de potencia unitario y temperatura aparecen con tres puntos por defectos obtenidos de la curva característica (ver **figura 2**) mencionada en el presente trabajo. Ver **figura 16**.

```

constructor TEditarFichaGTer_Basico.Create(AOwner: TComponent;

.
.
.
164     cb_flgActivarDeratingTemp.Checked:= false;
165     ePuntosP_pu.Text:= DAOFNRealToStr_([ 1.07, 1.00, 0.82], 6, 2, ',');
.
.
.

```

Figura 16: Implementación de parámetros por defecto en el derating de Temperatura al momento de crear una nueva ficha.

Al momento de crear la ficha, este convierte la información proveniente de un vector en una lista separado por punto y coma, por lo que al momento de guardar la información de la ficha, este deba hacer un proceso inverso, es decir, devolver los valores guardados como lista separados por punto y coma en un vector, en la **figura 17** se puede observar la modificación del código en el apartado “GuardarClick”.

```

procedure TEditarFichaGTer_Basico.BGuardarClick(Sender: TObject);

.
.
.
220     TFichaGTer_Basico( ficha ).derating_flgAplicar:= cb_flgActivarDeratingTemp.Checked;
221     TFichaGTer_Basico( ficha ).derating_P_pu:= strToDAOFNReal_ ( ePuntosP_pu.Text, ',');
.
.
.

```

Figura 17: Implementación de la función guardar para los valores establecidos para el derating de temperatura .

2.3 Desarrollo de sala SimSEE.

Para evaluar el funcionamiento de la modificación realizada en el código fuente en software del SimSEE se utilizó una sala VATES de corto plazo. Se seleccionó una sala ambientada en la época de verano con el fin de visualizar el efecto de las altas temperaturas del medio ambiente sobre las centrales térmicas, específicamente se seleccionó una sala de corto de plazo con fecha de inicio el de optimización el 7 de enero de 2022. En la **Figura 18** se muestran las características de las variables globales de esta sala.

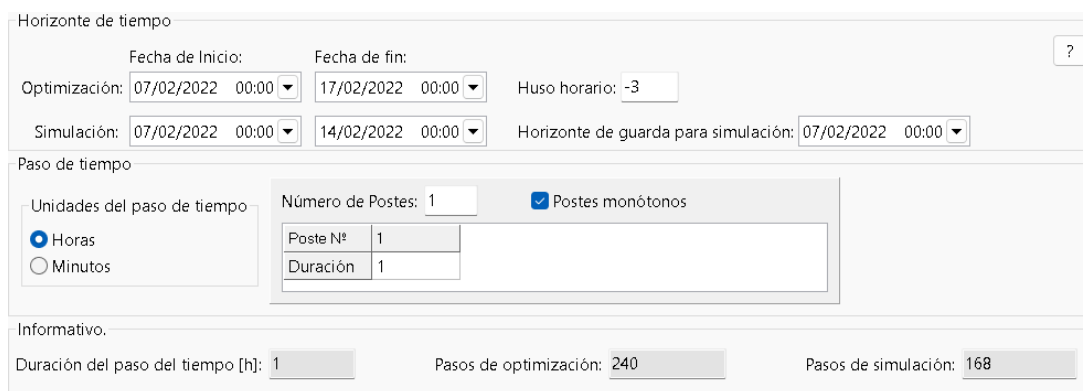


Figura 18: Variables Globales utilizadas por la sala VATES de corto plazo utilizada.

Por otro lado, en este apartado se especificarán todos los aspectos que son añadidos a la sala VATES para mostrar los resultados deseados. El resto de características que no son mencionadas, en gran medida las relacionadas a el SimRes3, no serán modificadas de ninguna manera para que se puedan realizar futuros análisis de aquellas variables que no son tomados en consideración en este proyecto.

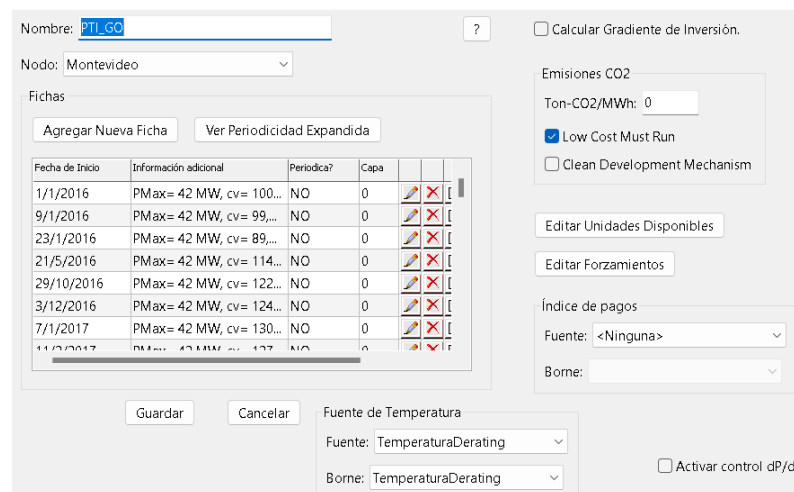
Además, para tener un punto de comparación, se procedió a evaluar 2 versiones de la misma sala, una con la aplicación del efecto de Derating sobre las centrales térmicas asociadas a turbinas a gas y la otra sin tomar en consideración este efecto.

2.3.1 Modificación de actores.

Como se mencionó anteriormente, la modificación realizada al código fuente solo tendrá como función mostrar el efecto de la temperatura ambiente sobre la centrales térmica a gas, lo cual no quiere decir que estas centrales térmicas necesiten algún hidrocarburo gaseoso sino más bien que estas utilizan aire atmosférico para su funcionamiento. En ese orden de ideas, los actores termicos que serán modificados serán aquellos que involucren turbinas a gas, los cuales son los siguientes:

- **CC540:** Ciclo Combinado, modo abierto con combustible líquido (2 TG).
- **CC540.gas:** Ciclo Combinado, modo abierto con combustible gaseoso (2 TG)..
- **Combinado:** Ciclo Combinado, modo cerrado (2 TG, 1 TV).
- **PTI_78:** Central Térmica de punta de tigre (2 TG).
- **PTA_GO:** Central Térmica de punta de tigre, con combustible líquido (6 TG).
- **PTA_Gas:** Central Térmica de punta de tigre, con combustible gaseoso (6 TG).

En todos los actores antes mencionados, se modificaron solamente las fichas asociadas al mes de enero de 2022 y diciembre 2021. En la **Figura 19 y 20** se muestra un ejemplo de la modificación realizada a los actores.



Nombre: **PTI_GO**

Nodo: Montevideo

Fichas

Agregar Nueva Ficha Ver Periodicidad Expandida

Fecha de Inicio	Información adicional	Periodica?	Capa			
1/1/2016	PMax= 42 MW, cv= 100...	NO	0			
9/1/2016	PMax= 42 MW, cv= 99...	NO	0			
23/1/2016	PMax= 42 MW, cv= 89...	NO	0			
21/5/2016	PMax= 42 MW, cv= 114...	NO	0			
29/10/2016	PMax= 42 MW, cv= 122...	NO	0			
3/12/2016	PMax= 42 MW, cv= 124...	NO	0			
7/1/2017	PMax= 42 MW, cv= 130...	NO	0			
11/12/2017	PMax= 42 MW, cv= 127...	NO	0			

Emisiones CO2

Ton-CO2/MWh: 0

☒ Low Cost Must Run

☐ Clean Development Mechanism

Editar Unidades Disponibles

Editar Forzamientos

Índice de pagos

Fuente: <Ninguna>

Borne:

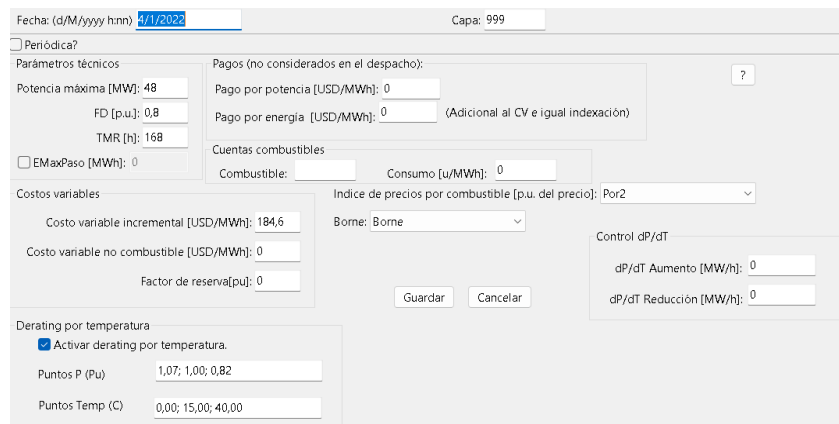
Fuente de Temperatura

Fuente: TemperaturaDerating

Borne: TemperaturaDerating

☐ Activar control dP/dT

Figura 19: Ejemplo de modificación del actor PTI_GO.



Fecha: (d/M/yyyy h:mm) 7/1/2022 Capa: 999

☐ Periódica?

Parámetros técnicos

Potencia máxima [MW]: 48

FD [p.u.]: 0,8

TMR [h]: 168

☐ EMaxPaso [MWh]: 0

Costos variables

Costo variable incremental [USD/MWh]: 184,6

Costo variable no combustible [USD/MWh]: 0

Factor de reserva[p.u.]: 0

Derating por temperatura

☒ Activar derating por temperatura.

Puntos P (Pu): 1,07; 1,00; 0,82

Puntos Temp (C): 0,00; 15,00; 40,00

Pagos (no considerados en el despacho):

Pago por potencia [USD/MWh]: 0

Pago por energía [USD/MWh]: 0 (Adicional al CV e igual indexación)

Cuentas combustibles

Combustible:

Consumo [u/MWh]: 0

Índice de precios por combustible [p.u. del precio]: Por2

Borne: Borne

Control dP/dT

dP/dT Aumento [MW/h]: 0

dP/dT Reducción [MW/h]: 0

Guardar Cancelar

Figura 20. Ejemplo de modificación de ficha del actor PTI_GO.

2.3.2 Creación de fuentes.

En primer lugar, para definir la temperatura ambiente se utilizó el borne de temperatura de la fuente CEGH PEolPSol, que se encuentra cargada en la sala VATES de corto plazo, la configuración de esta fuente se puede visualizar en la **figura 21**. Por otro lado, el resultado obtenido no refleja bien el efecto de los eventos de temperatura que pudieran afectar a las máquinas térmicas, tal como se puede observar en la **figura 22**, el cual se obtiene directamente tas graficar 200 pasos horarios en la opción de “graficar” de la fuente CEGH.

Valores Iniciales para Simulación (por paso de sorteo) y conos de PRONOSTICOS:

Escenarios de pronósticos de trayectorias del estado real.

Escenario: Escenario 1 Probabilidad: 1 p.u. Fecha de inicio: 2022-02-07

Número de pasos a graficar: 200

☒ Escenario actual

☐ Complejivo

Graficar

Borne	Valores iniciales y guía del pronóstico.	NPCC	NPLC	NPSA	NPAC	NRet.	ai[p.u.]
PEol	0.504; 0.505; 0.507; 0.502; 0.488; 0.488; 0.493;	164	0	0	200	1	0.2
PSol	0.000; 0.000; 0.000; 0.000; 0.000; 0.000; 0.000;	164	0	0	200	1	0.2
Temp	15.500; 15.209; 14.918; 14.680; 14.476; 14.322;	164	0	0	200	1	0.2

Figura 21: Configuración de cono de probabilidades fuente CEGH “PSolPEol”.

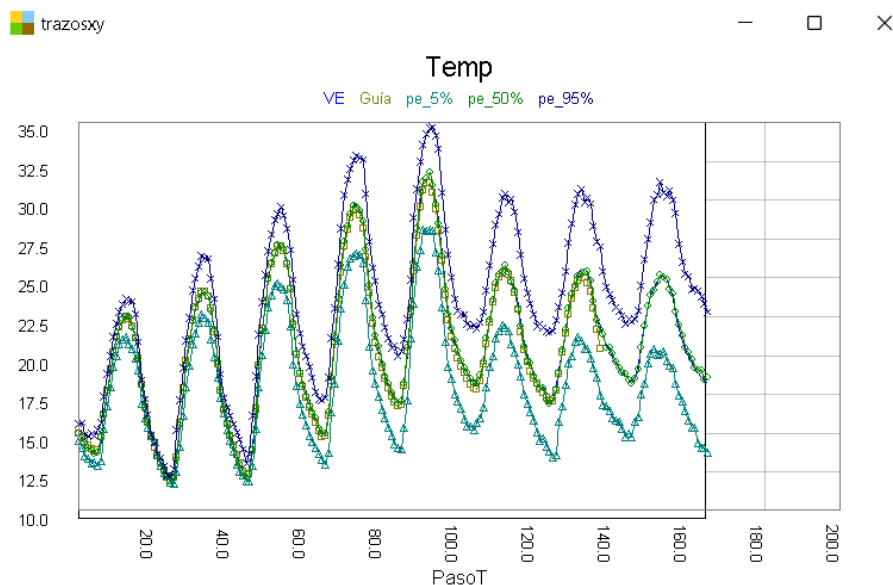


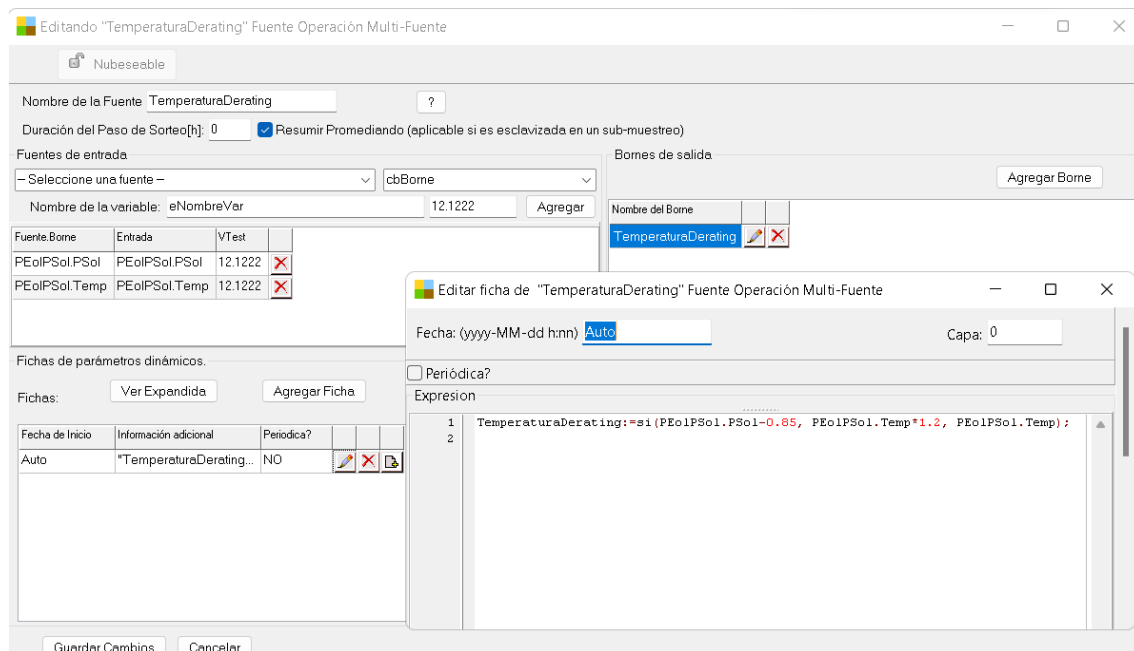
Figura 22: Gráfico de Temperatura de la fuente fuente CEGH “PSolPEol”.

Por este motivo se procedió a utilizar una operación de multifuente con el fin

relacionar la temperatura y la potencia solar; de la fuente CEGH antes mencionada, de tal manera que cuando la potencia solar sea mayor a 0,85 la temperatura sea multiplicada por 1,2; la fórmula utilizada en la ficha de la multifuente es la siguiente:

$$TemperaturaDerating := si(PEolPSol.PSol - 0.85, PEolPSol.Temp * 1.2, PEolPSol.Temp)$$

Donde el nombre del borne de salida es **TemperaturaDerating**. Las características de esta multifuente se muestran en la **figura 23**.



Nombre de la Fuente:

Duración del Paso de Sorteo[h]: ☒ Resumir Promediando (aplicable si es esclavizada en un sub-muestreo)

Fuentes de entrada:

Fuente.Borne	Entrada	VTest	
PEolPSol.PSol	PEolPSol.PSol	12.1222	✗
PEolPSol.Temp	PEolPSol.Temp	12.1222	✗

Bornes de salida:

Nombre del Borne:

Fichas de parámetros dinámicos:

Fichas:

Fecha de Inicio	Información adicional	Periodica?		
Auto	*TemperaturaDerating...	NO	✗	✗

Expresión:

```

1
2
TemperaturaDerating:=si(PEolPSol.PSol-0.85, PEolPSol.Temp*1.2, PEolPSol.Temp);

```

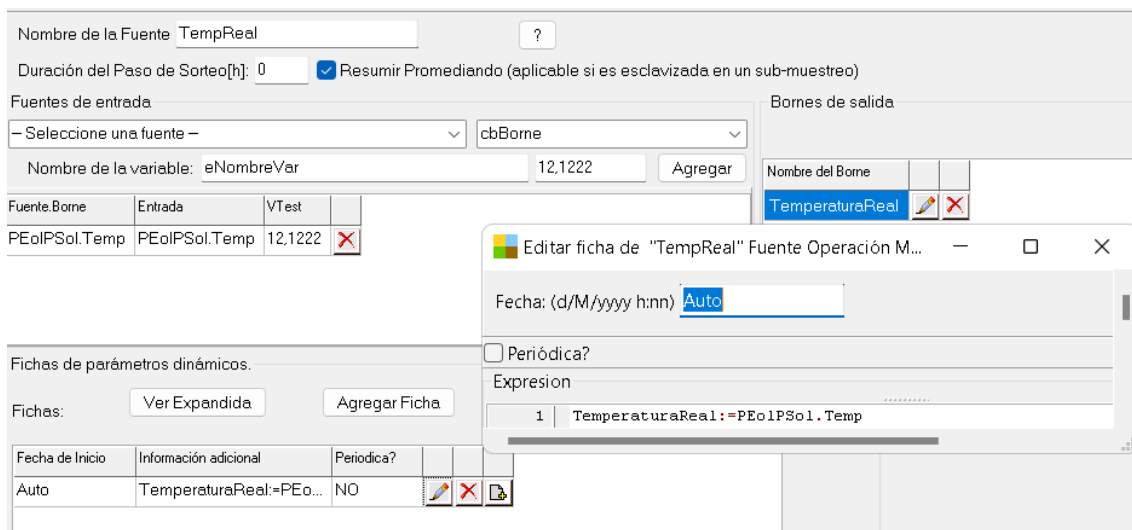
Figura 23: Especificaciones de multi fuente “TemperaturaDerating”.

Luego se utilizó nuevamente la operación de multifuente para definir los bornes **PEolPSol.PSol** y **PEolPSol.Temp**, de la fuente CEGH previamente utilizada, de tal manera de que se pudieran cambiar el nombre para utilizarlas posteriormente en la aplicación de SimRes3. Las fichas de las multifuentes agregadas son las siguientes:

$$TemperaturaReal := PEolPSol.Temp$$

$$PsolHoraria := PEolPSol.Temp$$

Donde los bornes de salida son **TemperaturaReal** y **PsolHoraria**. Las características de esta multifuente se muestran en las **figuras 24 y 25**.



Nombre de la Fuente: TempReal

Duración del Paso de Sorteo[h]: 0 ☒ Resumir Promediando (aplicable si es esclavizada en un sub-muestreo)

Fuentes de entrada:
 - Seleccione una fuente -
 Nombre de la variable: eNombreVar 12,1222 Agregar

Bornes de salida:
 Nombre del Borne:
 TemperaturaReal

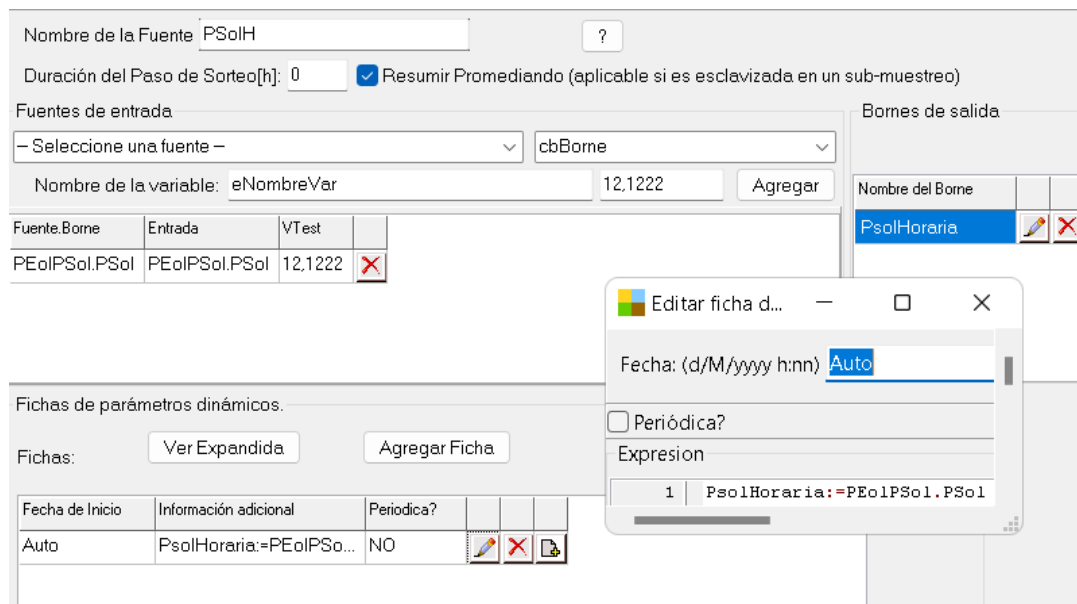
Fuente.Borne	Entrada	VTest
PEolPSol.Temp	PEolPSol.Temp	12,1222

Fichas de parámetros dinámicos:
 Fichas: Ver Expandida Agregar Ficha

Fecha de Inicio	Información adicional	Periodica?
Auto	TemperaturaReal:=PEo...	NO

Editar ficha de "TempReal" Fuente Operación M...
 Fecha: (d/M/yyyy h:nn) Auto
☐ Periódica?
 Expresion
 1 | TemperaturaReal:=PEolPSol.Temp

Figura 24: Especificaciones de multi fuente “TemperaturaReal”.



Nombre de la Fuente: PsolH

Duración del Paso de Sorteo[h]: 0 ☒ Resumir Promediando (aplicable si es esclavizada en un sub-muestreo)

Fuentes de entrada:
 - Seleccione una fuente -
 Nombre de la variable: eNombreVar 12,1222 Agregar

Bornes de salida:
 Nombre del Borne:
 PsolHoraria

Fuente.Borne	Entrada	VTest
PEolPSol.PSol	PEolPSol.PSol	12,1222

Fichas de parámetros dinámicos:
 Fichas: Ver Expandida Agregar Ficha

Fecha de Inicio	Información adicional	Periodica?
Auto	PsolHoraria:=PEolPSo...	NO

Editar ficha d...
 Fecha: (d/M/yyyy h:nn) Auto
☐ Periódica?
 Expresion
 1 | PsolHoraria:=PEolPSol.PSol

Figura 25: Especificaciones de multi fuente “PsolHoraria”.

2.3.3 Configuración del SimRes3:

Con el objetivo de mostrar los resultados consecuencia de la incorporación el efecto de Derating sobre la carga base de las centrales térmicas, se decidió por agregar a la sala VATES de corto plazo los siguientes gráficos:

- Comparación de temperatura.
- Generación Promedio PTA_GO.
- Generación Promedio PTA_78.
- Generación Promedio CC_GO.
- Promedio de Operación Hidráulicas vs Temperatura Derating.
- Costo Variables de los recursos vs Temperatura Derating.

La configuración en el SimRes3 de todos estos gráficos se muestra a continuación.

2.3.3.1 Configuración del gráfico “Comparación de Temperaturas”.

- **Definición de índices:**

En este gráfico se definieron los índices asociados a las multifuentes desarrolladas para la temperatura de Derating y las desarrolladas a partir de los bornes de temperatura y potencia solar de la fuente CEGH “PSolPEol”. En la **Figura 26** se muestra un ejemplo de la visualización de los índices en el SimRes3.

Nombre	Actor	Variable	Número de SimRes
PsolHoraria	PSolH	PsolHoraria	1
TemperaturaReal	TempReal	TemperaturaReal	1
Idx_TemperaturaDerating_TemperaturaDerating	TemperaturaDerating	TemperaturaDerating	1

Figura 26: Visualización Índices del gráfico “Comparación de temperatura”.

- **Variables crónicas:**

En la **figura 27** se muestra un ejemplo de la visualización de las variables crónicas que se agregan a plantilla del SimRes3

PsolHoraria
TempReal
TempDerating

Figura 27: Visualización variables crónicas del gráfico “Comparación de temperatura”.

- **Operaciones Crónicas:**

Se crearon 3 operaciones crónicas iguales para relacionar las variables crónicas con los índices previamente definidos. En este caso por no ser variables postisables el tipo de operación seleccionada es la operación de “Suma”. En la **Figura 28** se muestra la visualización de las operaciones creadas en el SimRes3.

Tipo de operación	Resultados	Parámetros índice	Parámetros adicionales
suma	PsolHoraria	PsolHoraria	-
suma	TempReal	TemperaturaReal	-
suma	TempDerating	Idx_TemperaturaDerating_TemperaturaDe...	-

Figura 28: Visualización operaciones Crónicas del gráfico “Comparación de temperatura”.

- **Post Operaciones:**

Se crearon 3 post operaciones iguales. En función del tipo gráfico que se desea obtener se decidió usar el tipo de post operación de “cronVarPorReal”, en todos los casos el coeficiente multiplicador es el número 1 como número real . En la **Figura 29** se visualiza un ejemplo de la configuración de una estas post operaciones en el SimRes3.

Resultado:
TempDerating
?

CronVar:
TempDerating

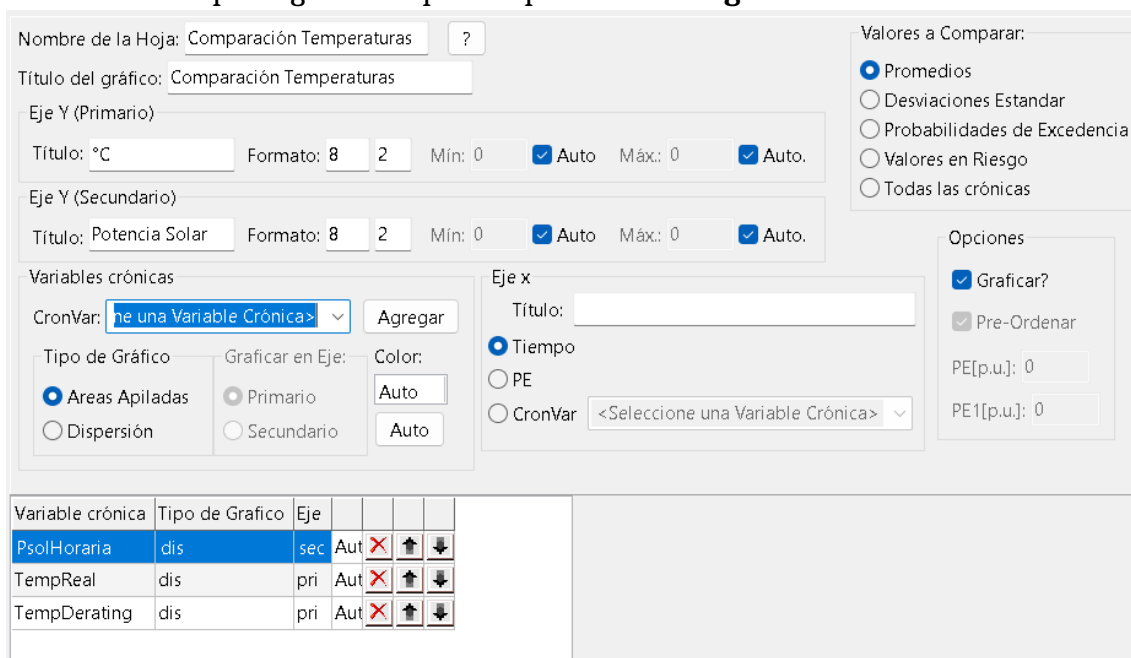
Real:
1

Guardar
Cancelar

Figura 29: Ejemplo de Post Operación del gráfico “Comparación de temperatura”.

- **Impresión de Variables Crónicas:**

En este apartado se definió un gráfico del tipo “Comparar Valores Multiples CronVars”, donde se comparan las temperaturas definidas junto con la potencia solar, teniendo como eje de las “X” cada uno de los pasos de tiempo y como eje de las “Y” la temperatura en grados °C para un eje primario y la potencia solar para el eje secundario. Esto con el fin de verificar el efecto de la potencia solar sobre el cálculo de la temperatura Derating. La configuración de este tipo de gráfico se puede apreciar en la **Figura 30**.



Nombre de la Hoja: Comparación Temperaturas ?

Título del gráfico: Comparación Temperaturas

Eje Y (Primario)

Título: °C Formato: 8 2 Min: 0 Auto Máx.: 0 Auto.

Eje Y (Secundario)

Título: Potencia Solar Formato: 8 2 Min: 0 Auto Máx.: 0 Auto.

Variables crónicas

CronVar: se una Variable Crónica> Agregar

Tipo de Gráfico: ☒ Areas Apiladas ☐ Dispersión

Graficar en Eje: ☐ Primario ☐ Secundario

Color: Auto

Eje x

Título:

☒ Tiempo ☐ PE ☐ CronVar <Seleccione una Variable Crónica>

Valores a Comparar:

☒ Promedios ☐ Desviaciones Estandar ☐ Probabilidades de Excedencia ☐ Valores en Riesgo ☐ Todas las crónicas

Opciones

☒ Graficar? ☒ Pre-Ordenar

PE[p.u.]: 0 PE1[p.u.]: 0

Variable crónica	Tipo de Grafico	Eje	Aut	Min	Max	Color
PsolHoraria	dis	sec	Aut	X	↑	↓
TempReal	dis	pri	Aut	X	↑	↓
TempDerating	dis	pri	Aut	X	↑	↓

Figura 30: Configuración de gráfico “Comparación de temperatura” en el apartado de impresión de variables crónicas.

2.3.3.2 Configuración del gráfico “Generación Promedio PTA_GO”.

- **Definición de índices:**

Para este gráfico no se añade ningún nuevo índice a la plantilla del SimRes3 además de los ya creados, los índices utilizados son los siguientes:

- **Nombre:** Idx_P_PTI_GO, **Actor:** PTI_GO, **Variable:** P.
- **Nombre:** Idx_TemperaturaDerating_TemperaturaDerating, **Actor:** TemperaturaDerating, **Variable:** TemperaturaDerating.

- **Variables crónicas:**

Para este gráfico no se añade ninguna nueva variable crónica a la plantilla del SimRes3 además de las ya creadas, las variables crónicas utilizados son los siguientes:

- **Nombre:** pPTIs.

- **Nombre:** TempDerating.

● **Operaciones Crónicas:**

Para este gráfico no se añade ninguna nueva operación crónica a la plantilla del SimRes3 además de las ya creadas, las variables crónicas utilizados son los siguientes:

- **Tipo de operación:** prmoedioPonderadoPorDurpos ,**Variable Crónica:** pPTIs, **Índice:** Idx_P_PTI_GO.
- **Tipo de operación:** suma ,**Variable Crónica:** TempDerating, **Índice:** Idx_TemperaturaDerating_TemperaturaDerating.

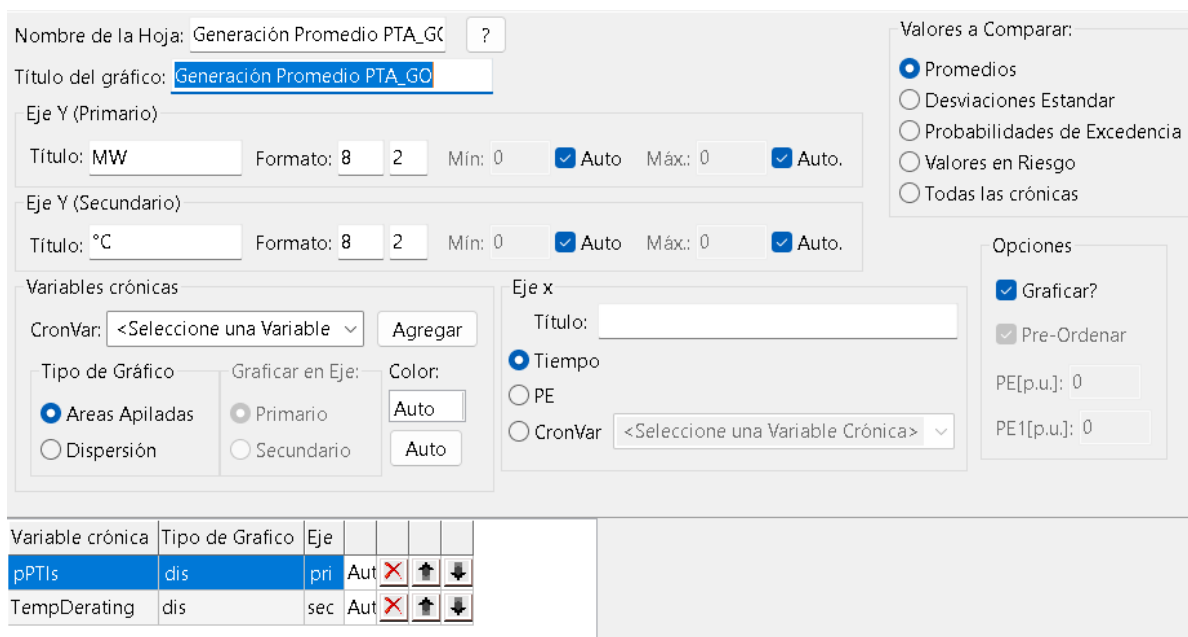
● **Post Operaciones:**

Para este gráfico no se añade ninguna nueva post operación a la plantilla del SimRes3 además de las ya creadas, la post operación utilizada son los siguientes:

- **Tipo de operación:** cronVarPorReal ,**Resultados:** TempDerating, **Parámetros Variables Crónicas:** TempDerating, **Parámetros adicionales:** aReal=1.

● **Impresión de Variables Crónicas:**

En este apartado se definió un gráfico del tipo “**Comparar Valores Múltiples CronVars**”, donde se comparan la generación promedio de actor **PTI_GO** junto con la temperatura modificada a partir de la potencia solar; teniendo como eje de las “X” cada uno de los pasos de tiempo y como eje de las “Y” la generación del actor antes mencionado en MW para el eje primario y la temperatura en grados °C para el eje secundario. Esto con el fin de mostrar el efecto de la temperatura sobre la generación eléctrica del actor. La configuración de este gráfico se puede apreciar en la **Figura 31**.



Nombre de la Hoja: Generación Promedio PTA_GO ?

Título del gráfico: Generación Promedio PTA_GO

Eje Y (Primario)

Título: MW Formato: 8 2 Min: 0 Auto Máx.: 0 Auto.

Eje Y (Secundario)

Título: °C Formato: 8 2 Min: 0 Auto Máx.: 0 Auto.

Variables crónicas

CronVar: <Seleccione una Variable> Agregar

Tipo de Gráfico: ☒ Áreas Apiladas ☐ Dispersión

Graficar en Eje: ☐ Primario ☐ Secundario

Color: Auto

Eje x

Título:

☒ Tiempo ☐ PE ☐ CronVar <Seleccione una Variable Crónica>

Valores a Comparar:

☒ Promedios ☐ Desviaciones Estandar ☐ Probabilidades de Excedencia ☐ Valores en Riesgo ☐ Todas las crónicas

Opciones

☒ Graficar? ☒ Pre-Ordenar

PE[p.u.]: 0 PE1[p.u.]: 0

Variable crónica	Tipo de Grafico	Eje	Aut	Min	Máx.
pPTIs	dis	pri	Aut	X	↑ ↓
TempDerating	dis	sec	Aut	X	↑ ↓

Figura 31: Configuración de gráfico “Generación Promedio PTA_GO” en el apartado de

impresión de variables crónicas.

2.3.3.3 Configuración del gráfico “Generación Promedio PTA_78”.

- **Definición de índices:**

Para este gráfico no se añade ningún nuevo índice a la plantilla del SimRes3 además de los ya creados, los índices utilizados son los siguientes:

- **Nombre:** Idx_P_APR 1, **Actor:** PTA_78, **Variable:** P.
- **Nombre:** Idx_TemperaturaDerating_TemperaturaDerating, **Actor:** TemperaturaDerating, **Variable:** TemperaturaDerating.

- **Variables crónicas:**

Para este gráfico no se añade ninguna nueva variable crónica a la plantilla del SimRes3 además de las ya creadas, las variables crónicas utilizados son los siguientes:

- **Nombre:** pPTA_78.
- **Nombre:** TempDerating.

- **Operaciones Crónicas:**

Para este gráfico no se añade ninguna nueva operación crónica a la plantilla del SimRes3 además de las ya creadas, las variables crónicas utilizados son los siguientes:

- **Tipo de operación:** prmoedioPonderadoPorDurpos ,**Variable Crónica:** pPTA_78, **Índice:** Idx_P_APR 1.
- **Tipo de operación:** suma ,**Variable Crónica:** TempDerating, **Índice:** Idx_TemperaturaDerating_TemperaturaDerating.

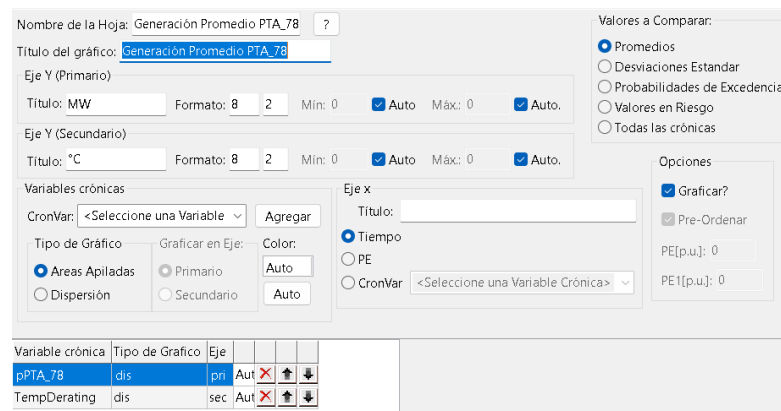
- **Post Operaciones:**

Para este gráfico no se añade ninguna nueva post operación a la plantilla del SimRes3 además de las ya creadas, la post operación utilizada son los siguientes:

- **Tipo de operación:** cronVarPorReal ,**Resultados:** TempDerating, **Parámetros Variables Crónicas:** TempDerating, **Parámetros adicionales:** aReal=1.

- **Impresión de Variables Crónicas:**

En este apartado se definió un gráfico del tipo “**Comparar Valores Multiples CronVars**”, donde se comparan la generación promedio de actor **PTA_78** junto con la temperatura modificada a partir de la potencia solar, teniendo como eje de las “X” cada uno de los pasos de tiempo y como eje de las “Y” la generación del actor antes mencionado en MW para el eje primario y la temperatura en grados °C para el eje secundario. Esto con el fin de mostrar el efecto de la temperatura sobre la generación eléctrica del actor. La configuración de este gráfico se puede apreciar en la **Figura 32**.



Variable crónica	Tipo de Gráfico	Eje	Aut	↑	↓
pPTA_78	dis	pri	Aut	×	↑
TempDerating	dis	sec	Aut	×	↑

Figura 32: Configuración de gráfico “Generación Promedio PTA_78” en el apartado de impresión de variables crónicas.

2.3.3.4 Configuración del gráfico “Generación Promedio CC_GO”.

- **Definición de índices:**

Para este gráfico no se añade ningún nuevo índice a la plantilla del SimRes3 además de los ya creados, los índices utilizados son los siguientes:

- **Nombre:** Idx_P_Combinado **Actor:** Combinado, **Variable:** P.
- **Nombre:** Idx_TemperaturaDerating_TemperaturaDerating, **Actor:** TemperaturaDerating, **Variable:** TemperaturaDerating.

- **Variables crónicas:**

Para este gráfico no se añade ninguna nueva variable crónica a la plantilla del SimRes3 además de las ya creadas, las variables crónicas utilizados son los siguientes:

- **Nombre:** pCC.
- **Nombre:** TempDerating.

- **Operaciones Crónicas:**

Para este gráfico no se añade ninguna nueva operación crónica a la plantilla del SimRes3 además de las ya creadas, las variables crónicas utilizados son los siguientes:

- **Tipo de operación:** prmoedioPonderadoPorDurpos, **Variable Crónica:** pCC, **Índice:** Idx_P_Combinado.
- **Tipo de operación:** suma, **Variable Crónica:** TempDerating, **Índice:** Idx_TemperaturaDerating_TemperaturaDerating.

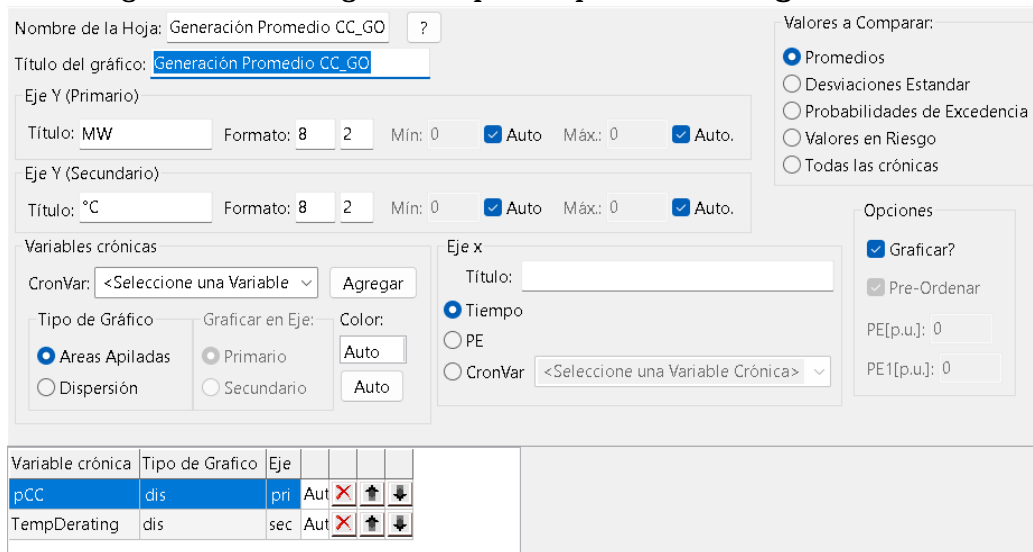
- **Post Operaciones:**

Para este gráfico no se añade ninguna nueva post operación a la plantilla del SimRes3 además de las ya creadas, la post operación utilizada son los siguientes:

- **Tipo de operación:** cronVarPorReal, **Resultados:** TempDerating, **Parámetros Variables Crónicas:** TempDerating, **Parámetros adicionales:** aReal=1.

• **Impresión de Variables Crónicas:**

En este apartado se definió un gráfico del tipo “**Comparar Valores Múltiples CronVars**”, donde se comparan la generación promedio de actor **Combinado** junto con la temperatura modificada a partir de la potencia solar, teniendo como eje de las “X” cada uno de los pasos de tiempo y como eje de las “Y” la generación del actor antes mencionado en MW para el eje primario y la temperatura en grados °C para el eje secundario. Esto con el fin de mostrar el efecto de la temperatura sobre la generación eléctrica del actor. La configuración de este gráfico se puede apreciar en la **Figura 33**.



Nombre de la Hoja: Generación Promedio CC_GO ?

Título del gráfico: Generación Promedio CC_GO

Eje Y (Primario)

Título: MW Formato: 8 2 Min: 0 Auto Máx.: 0 Auto.

Eje Y (Secundario)

Título: °C Formato: 8 2 Min: 0 Auto Máx.: 0 Auto.

Variables crónicas

CronVar: <Seleccione una Variable> Agregar

Tipo de Gráfico: ☒ Áreas Apiladas ☐ Dispersión

Graficar en Eje: ☐ Primario ☐ Secundario

Color: Auto

Eje x

Título:

☒ Tiempo ☐ PE ☐ CronVar <Seleccione una Variable Crónica>

Valores a Comparar:

☒ Promedios ☐ Desviaciones Estandar ☐ Probabilidades de Excedencia ☐ Valores en Riesgo ☐ Todas las crónicas

Opciones

☒ Graficar? ☒ Pre-Ordenar

PE[p.u.]: 0 PE1[p.u.]: 0

Variable crónica	Tipo de Gráfico	Eje			
pCC	dis	prim	Aut	✗	↑ ↓
TempDerating	dis	sec	Aut	✗	↑ ↓

Figura 33: Configuración de gráfico “Generación Promedio CC_GO” en el apartado de impresión de variables crónicas.

2.3.3.5 Configuración del gráfico “Promedio de Operación Hidráulicas vs Temperatura Derating”.

• **Definición de índices:**

Para este gráfico no se añade ningún nuevo índice a la plantilla del SimRes3 además de los ya creados, los índices utilizados son los siguientes:

- **Nombre:** Idx_QTurbinado_Palmar **Actor:** Palmar, **Variable:** QTurbinado.
- **Nombre:** Idx_QTurbinado_Baygorria **Actor:** Baygorria, **Variable:** QTurbinado.
- **Nombre:** Idx_QTurbinado_Bonete **Actor:** Bonete, **Variable:** QTurbinado.
- **Nombre:** Idx_QTurbinado_SG **Actor:** SG, **Variable:** QTurbinado.
- **Nombre:** Idx_TemperaturaDerating_TemperaturaDerating, **Actor:** TemperaturaDerating, **Variable:** TemperaturaDerating.

• **Variables crónicas:**

Para este gráfico no se añade ninguna nueva variable crónica a la plantilla del SimRes3 además de las ya creadas, las variables crónicas utilizados son los siguientes:

- **Nombre:** QTurPal.

- **Nombre:** QTurBay.
- **Nombre:** QTurBon.
- **Nombre:** QTurSal.
- **Nombre:** TempDerating.

- **Operaciones Crónicas:**

Para este gráfico no se añade ninguna nueva operación crónica a la plantilla del SimRes3 además de las ya creadas, las variables crónicas utilizados son los siguientes:

- **Tipo de operación:** promedio ,**Variable Crónica:** QTurPal, **Índice:** Idx_QTurbinado_Palmar.
- **Tipo de operación:** promedio ,**Variable Crónica:** QTurBay, **Índice:** Idx_QTurbinado_Baygorria.
- **Tipo de operación:** promedio ,**Variable Crónica:** QTurBon, **Índice:** Idx_QTurbinado_Bonete.
- **Tipo de operación:** promedio ,**Variable Crónica:** QTurSal, **Índice:** Idx_QTurbinado_SG.
- **Tipo de operación:** suma ,**Variable Crónica:** TempDerating, **Índice:** Idx_TemperaturaDerating_TemperaturaDerating.

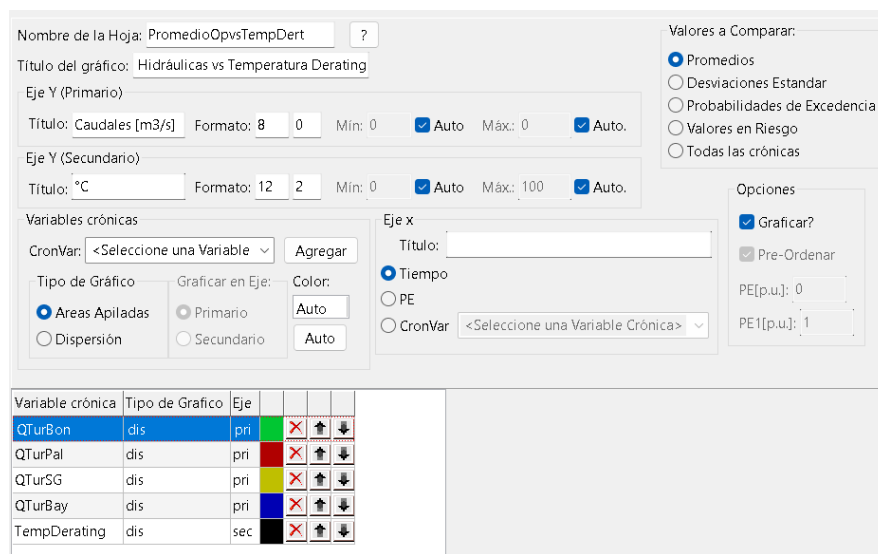
- **Post Operaciones:**

Para este gráfico no se añade ninguna nueva post operación a la plantilla del SimRes3 además de las ya creadas, la post operación utilizada son los siguientes:

- **Tipo de operación:** cronVarPorReal ,**Resultados:** TempDerating, **Parámetros Variables Crónicas:** TempDerating, **Parámetros adicionales:** aReal=1.

- **Impresión de Variables Crónicas:**

En este apartado se definió un gráfico del tipo “**Promedio de Operación Hidráulicas vs Temperatura Derating**”, donde se comparan los distintos caudales turbinados por parte de los actores de generación hidráulica junto con la temperatura modificada a partir de la potencia solar, teniendo como eje de las “X” cada uno de los pasos de tiempo y como eje de las “Y” un eje primario con el caudal turbinado de los actores antes mencionados en m³/s y con la temperatura en grados °C para otro eje secundario. Esto con el fin de mostrar cómo la variación de generación térmica afecta también la generación de energía hidráulica. La configuración de este gráfico se puede apreciar en la **Figura 34**.



Nombre de la Hoja: PromedioOpvsTempDert ?

Título del gráfico: Hidráulicas vs Temperatura Derating

Eje Y (Primario)

Título: Caudales [m3/s] Formato: 8 0 Min: 0 Auto Máx: 0 Auto.

Eje Y (Secundario)

Título: °C Formato: 12 2 Min: 0 Auto Máx: 100 Auto.

Variables crónicas

CronVar: <Seleccione una Variable> Agregar

Tipo de Gráfico

☒ Áreas Apiladas ☐ Dispersión

Graficar en Eje: ☐ Primario ☐ Secundario

Color: Auto

Eje x

Título:

☒ Tiempo ☐ PE ☐ CronVar <Seleccione una Variable Crónica>

Valores a Comparar:

☒ Promedios ☐ Desviaciones Estandar ☐ Probabilidades de Excedencia ☐ Valores en Riesgo ☐ Todas las crónicas

Opciones

☒ Graficar? ☒ Pre-Ordenar

PE[p.u.]: 0 PE1[p.u.]: 1

Variable crónica	Tipo de Gráfico	Eje			
QTurBon	dis	pri			
QTurPal	dis	pri			
QTurSG	dis	pri			
QTurBay	dis	pri			
TempDerating	dis	sec			

Figura 34: Configuración de gráfico “Promedio de Operación Hidráulicas vs Temperatura Derating” en el apartado de impresión de variables crónicas.

2.3.3.6 Configuración del gráfico “Costo Variables de los recursos vs Temperatura Derating”.

- **Definición de índices:**

Para este gráfico no se añade ningún nuevo índice a la plantilla del SimRes3 además de los ya creados, los índices utilizados son los siguientes:

- **Nombre:** Idx_multL_RPot_Palmar **Actor:** Palmar, **Variable:** cv_Spot.
- **Nombre:** Idx_multL_RPot_Bonete **Actor:** Bonete, **Variable:** cv_Spot.
- **Nombre:** Idx_multL_RPot_SG **Actor:** SG, **Variable:** cv_Spot.
- **Nombre:** Idx_spot_Montevideo **Actor:** Montevideo, **Variable:** spot.
- **Nombre:** Idx_cmg_Montevideo **Actor:** Montevideo, **Variable:** cmg.
- **Nombre:** Idx_TemperaturaDerating_TemperaturaDerating, **Actor:** TemperaturaDerating, **Variable:** TemperaturaDerating.

- **Variables crónicas:**

Para este gráfico no se añade ninguna nueva variable crónica a la plantilla del SimRes3 además de las ya creadas, las variables crónicas utilizados son los siguientes:

- **Nombre:** cvspot_Pal.
- **Nombre:** cvspot_Bon.
- **Nombre:** cvspot_SG.
- **Nombre:** Spot_UY.
- **Nombre:** cmg.
- **Nombre:** TempDerating.

- **Operaciones Crónicas:**

Para este gráfico no se añade ninguna nueva operación crónica a la plantilla del SimRes3 además de las ya creadas, las variables crónicas utilizados son los siguientes:

- **Tipo de operación:** suma ,**Variable Crónica:** cvspot_Pal, **Índice:**

Idx_multL_RPot_Palmar:

- **Tipo de operación:** suma ,**Variable Crónica:** cvspot_Bon, **Índice:** Idx_multL_RPot_Bonete.
- **Tipo de operación:** suma ,**Variable Crónica:** cvspot_SG, **Índice:** Idx_spot_Montevideo.
- **Tipo de operación:** suma ,**Variable Crónica:** Spot_UY, **Índice:** Idx_spot_Montevideo.
- **Tipo de operación:** prmoedioPonderadoPorDurpos ,**Variable Crónica:** cmg, **Índice:** Idx_cmg_Montevideo.
- **Tipo de operación:** suma ,**Variable Crónica:** TempDerating, **Índice:** Idx_TemperaturaDerating_TemperaturaDerating.

- **Post Operaciones:**

Para este gráfico no se añade ninguna nueva post operación a la plantilla del SimRes3 además de las ya creadas, la post operación utilizada son los siguientes:

- **Tipo de operación:** cronVarPorReal ,**Resultados:** TempDerating, **Parámetros Variables Crónicas:** TempDerating, **Parámetros adicionales:** aReal=1.

- **Impresión de Variables Crónicas:**

En este apartado se definió un gráfico del tipo “**Costo Variables de los recursos vs Temperatura Derating**”, donde se comparan el precio Spot de las centrales hidráulicas de Bonete, Palmar y Salto Grande junto con el precio Spot, y el costo marginal de todo el sistema, además de también junto con la temperatura modificada a partir de la potencia solar; teniendo como eje de las “X” cada uno de los pasos de tiempo y como eje de las “Y” el costo de generación en USD/MWh para el eje primario y la temperatura en grados °C para el eje secundario. Esto con el fin de mostrar cómo la variación de generación térmica afecta los costos de generación de la simulación. La configuración de este gráfico se puede apreciar en la **Figura 35**.

Nombre de la Hoja: ValoresRecursosUYVsTempDe ?

Título del gráfico: los recursos vs Temperatura Derating

Eje Y (Primario)
Título: USD/MWh Formato: 12 2 Mín: 0 ☒ Auto Máx: 100 ☒ Auto.

Eje Y (Secundario)
Título: °C Formato: 12 2 Mín: 0 ☒ Auto Máx: 100 ☒ Auto.

Variables crónicas
CronVar: <Selecione una Variable> Agregar

Tipo de Gráfico: ☒ Areas Apiladas ☐ Dispersión Graficar en Eje: ☐ Primario ☐ Secundario Color: Auto

Eje x
Título: ☒ Tiempo ☐ PE ☐ CronVar <Selecione una Variable Crónica>

Valores a Comparar:
☒ Promedios
☐ Desviaciones Estandar
☐ Probabilidades de Excedencia
☐ Valores en Riesgo
☐ Todas las crónicas

Opciones
☒ Graficar?
☒ Pre-Ordenar
PE[p.u.]: 0
PE1[p.u.]: 0,3

Variable crónica	Tipo de Grafico	Eje			
cvspot_Bon	dis	pri	☒	☒	☒
cvspot_Pal	dis	pri	☒	☒	☒
cvspot_SG	dis	pri	☒	☒	☒
cmg	dis	pri	☒	☒	☒
Spot_UY	dis	pri	☒	☒	☒
TempDerating	dis	sec	☒	☒	☒

Figura 35: Configuración de gráfico “Costo Variables de los recursos vs Temperatura Derating” en el apartado de impresión de variables crónicas.

3. Resultados del estudio.

En este apartado se muestran los gráficos obtenidos a partir de la aplicación del SimRes3 sobre la simulación desarrollada por el SimSee.

3.1 Gráfico “Comparación de Temperaturas”.

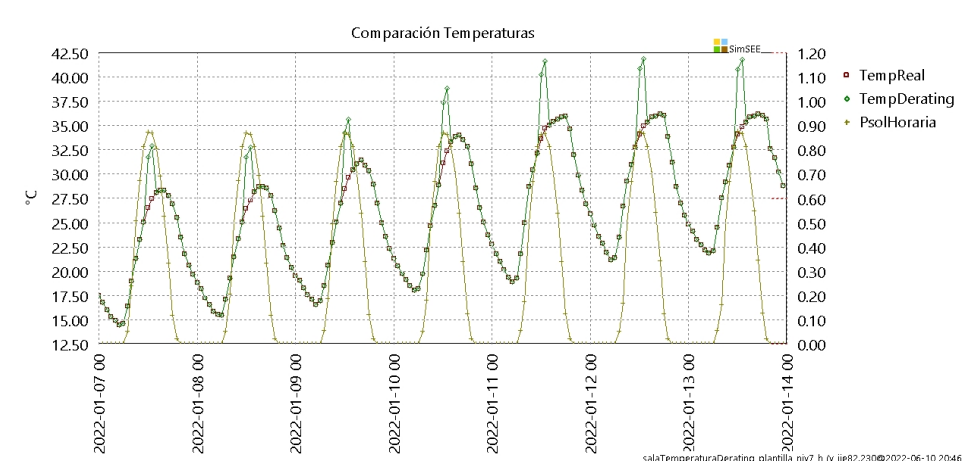


Figura 36: Gráfico “Comparación de Temperaturas”.

Los siguientes gráficos que se mostrarán en este apartado serán en duplicado, donde se mencionan cuales toman en consideración el efecto del Derating de temperatura y cuales no.

3.2 Gráfico “Generación Promedio PTA_GO”.

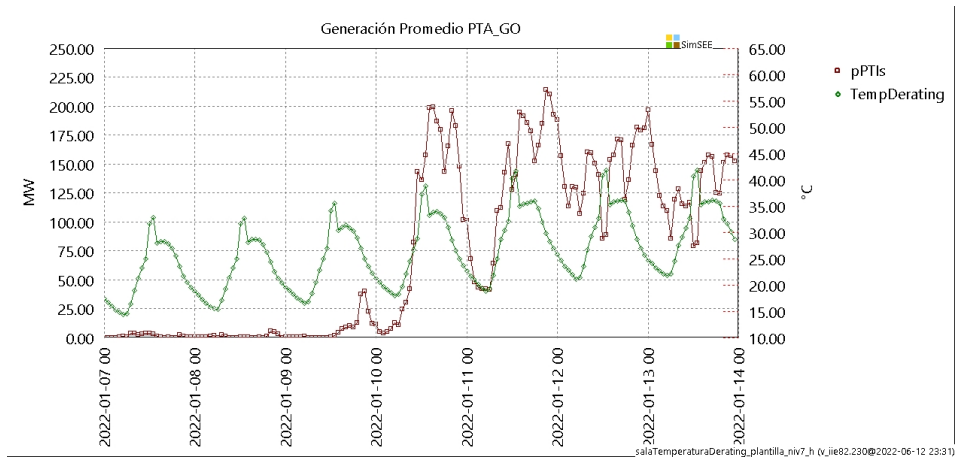


Figura 37: Gráfico “Generación Promedio PTA_GO”(Sala sin Derating).

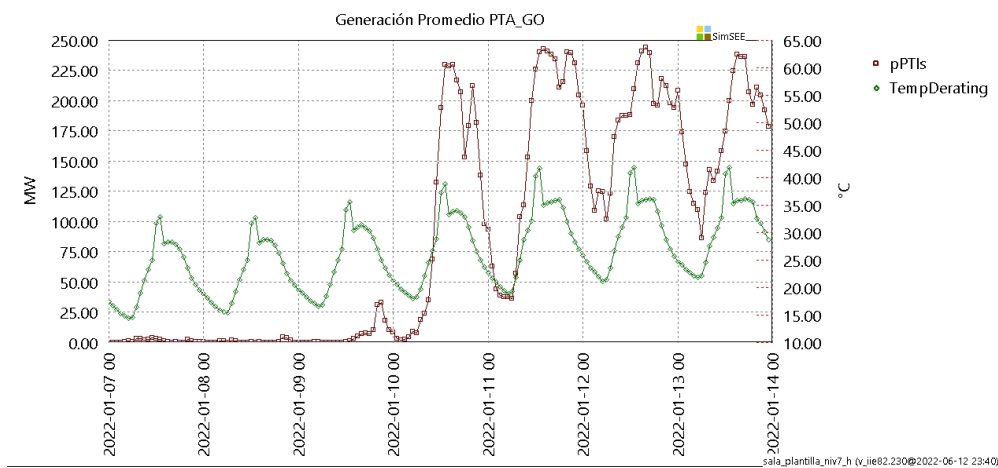


Figura 38: Gráfico “Generación Promedio PTA_GO”(Sala con Derating).

3.3 Gráfico “Generación Promedio PTA_78”.

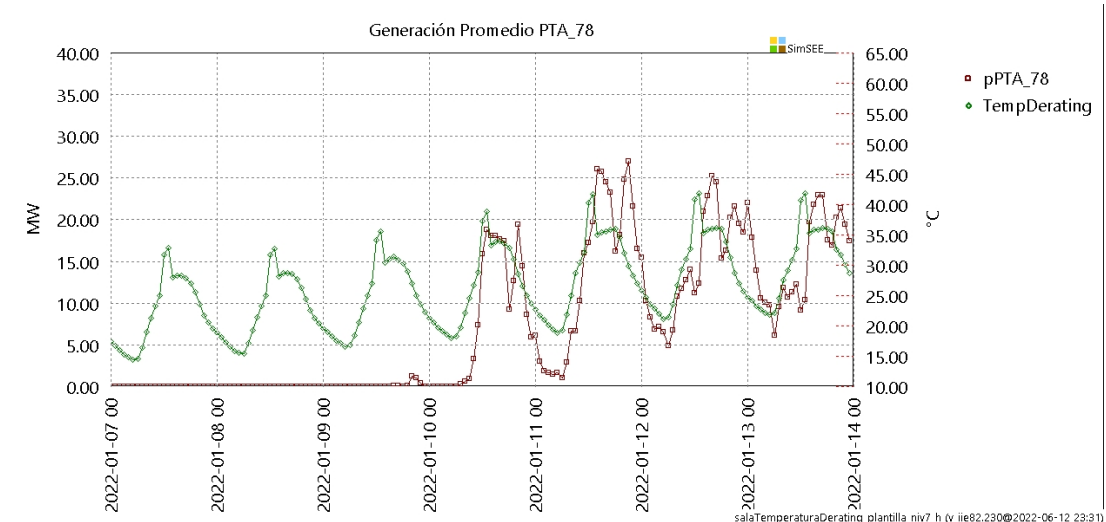


Figura 39: Gráfico “Generación Promedio PTA_78”(Sala sin Derating).

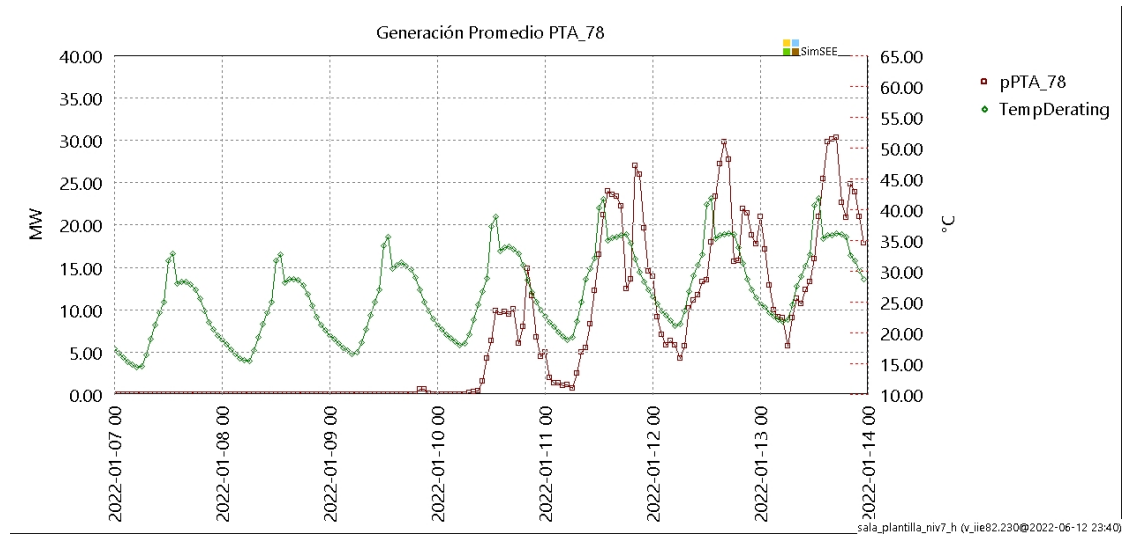


Figura 40: Gráfico “Generación Promedio PTA_78”(Sala con Derating).

3.4 Gráfico “Generación Promedio CC_GO”.

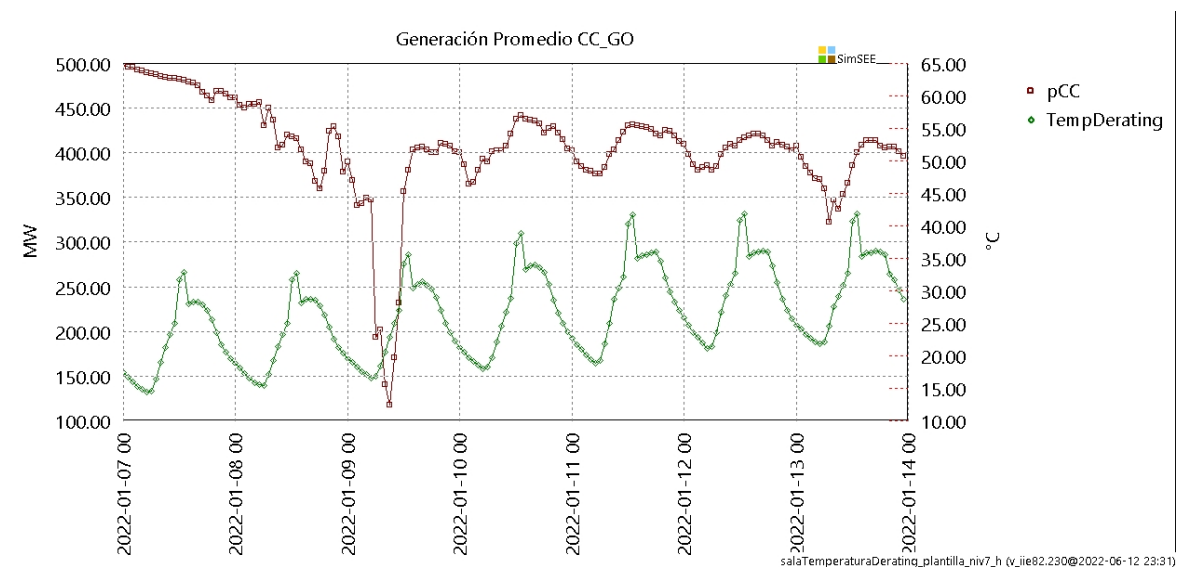


Figura 41: Gráfico “Generación Promedio CC_GO”(Sala sin Derating).

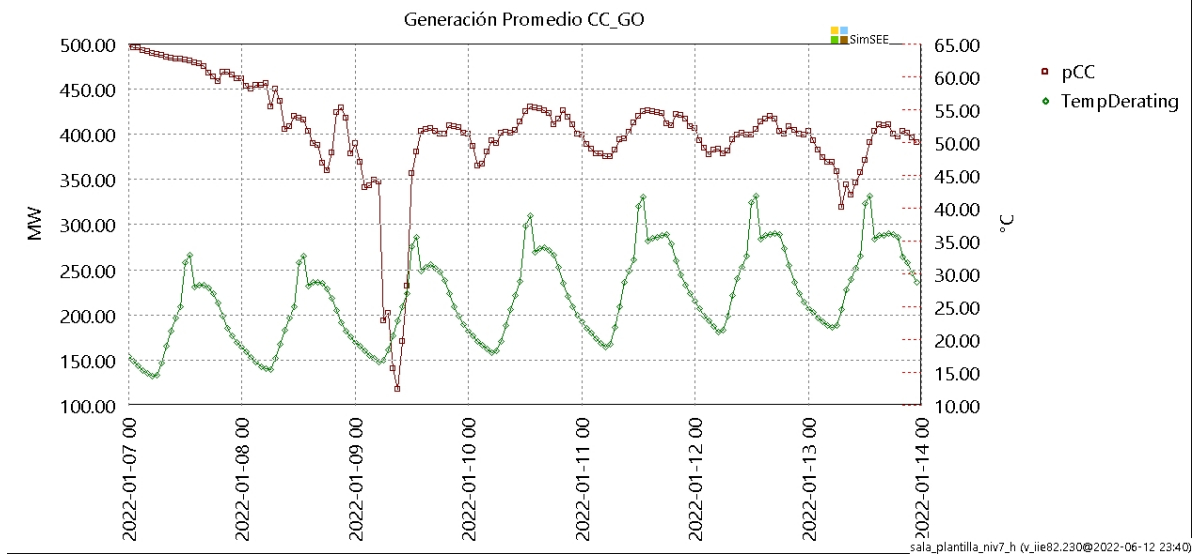


Figura 42: Gráfico “Generación Promedio CC_GO”(Sala con Derating).

3.5 Gráfico “Costo Variables de los recursos vs Temperatura Derating”.

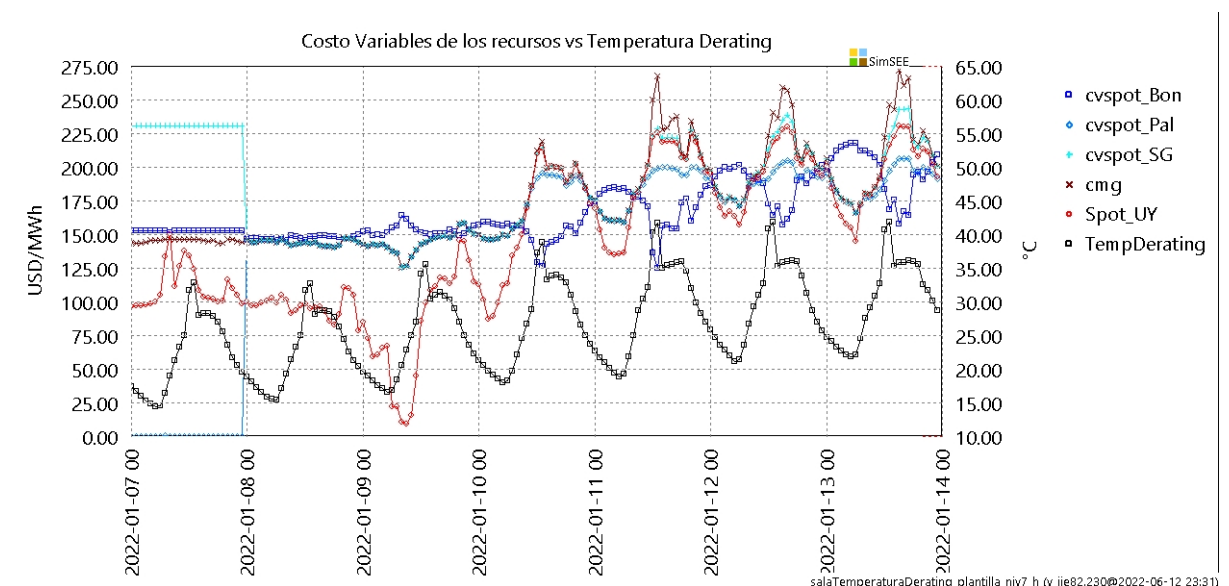


Figura 43: Gráfico “Promedio de Operación Hidráulicas vs Temperatura Derating”(Sala con Derating).

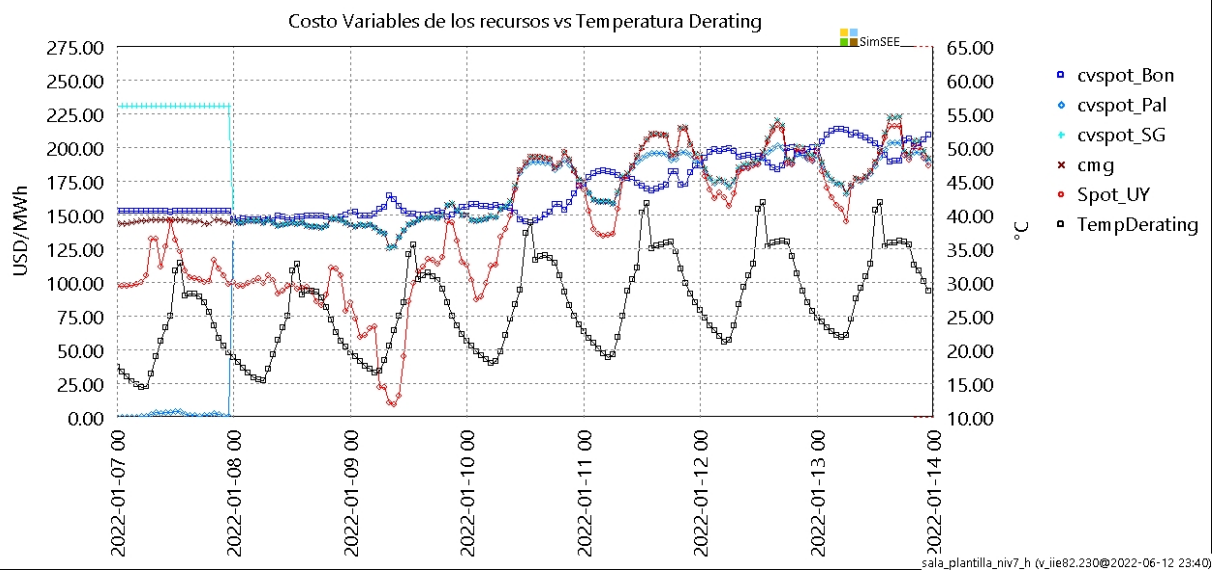


Figura 44: Gráfico “Promedio de Operación Hidráulicas vs Temperatura Derating”(Sala sin Derating).

3.6 Gráfico “Promedio de Operación Hidráulicas vs Temperatura Derating”.

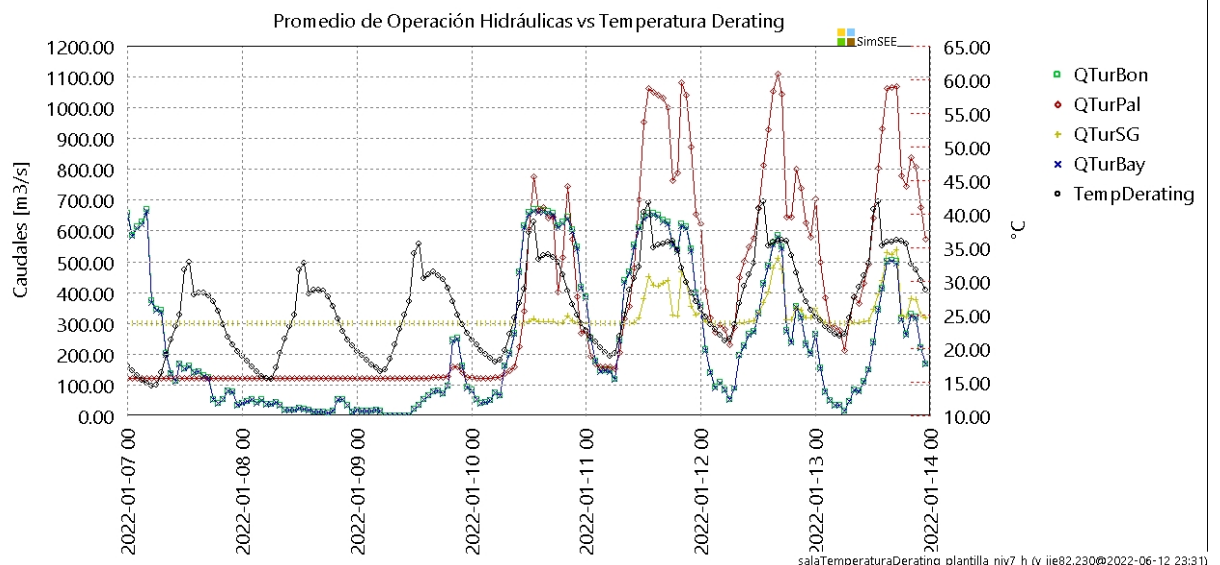


Figura 45: Gráfico “Promedio de Operación Hidráulicas vs Temperatura Derating”(Sala con Derating).

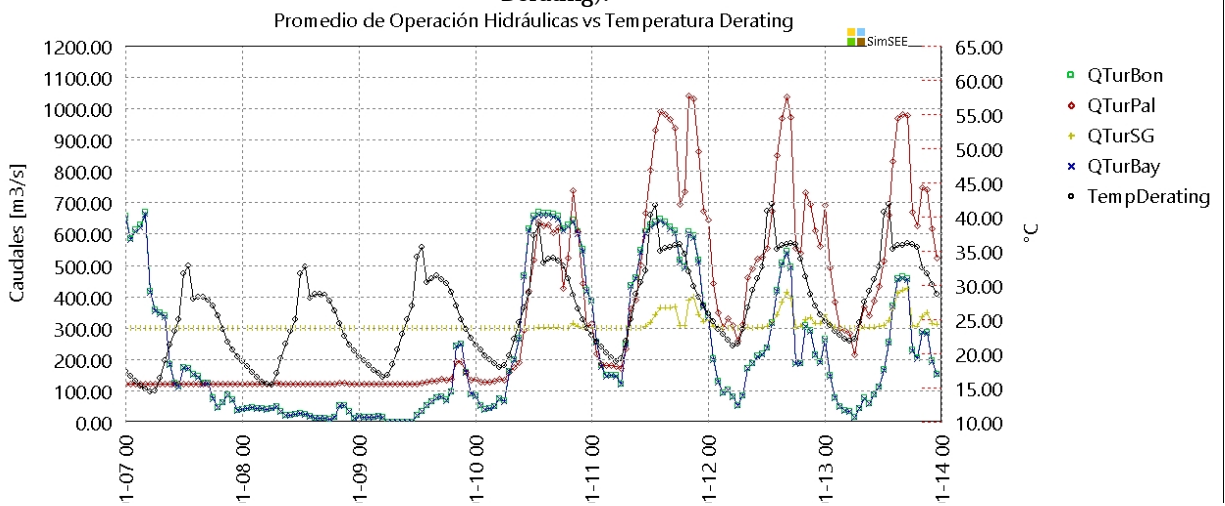


Figura 46: Gráfico “Promedio de Operación Hidráulicas vs Temperatura Derating”(Sala sin Derating).

4.Conclusiones.

4.1 Gráfico “Comparación de Temperaturas”.

La temperatura obtenida de la operación multifuente elaborada en función de los bornes de temperatura y potencia solar del CEGH PEolPSol, logra representar, en los puntos de mayor potencia solar, valores de temperatura superiores a fin de lograr una mayor apreciación del efecto derating sobre las turbinas.

4.2 Gráficos: “Generación Promedio PTA_GO” y “Generación Promedio PTA_78”.

Tanto para la generación energética del actor “PTI_GO” y “PTA78”, podemos observar, comparativamente entre las dos salas de estudio, una reducción de la potencia promedio generada para los periodos de tiempo de mayor temperatura ambiente y potencia solar.

A partir de este resultado, podemos decir que la modificación realizada sobre el código fuente del programa SimSee modela correctamente el efecto de derating de temperatura sobre los actores del tipo Termico Basico relacionados a turbinas de gas.

Esto permitirá la realización de pronósticos más exactos por medio de la sala VATES de corto plazo.

4.3 Gráficos “Generación Promedio CC_GO”.

Para este actor, tomando que estos son resultados probabilísticos, no se logra apreciar un cambio sustancial entre tomar o no en cuenta el efecto de derating de temperatura para la sala VATES de corto plazo. Incluso, se logra apreciar un pequeño incremento en la potencia promedio generada por el ciclo combinado en los periodos de tiempo de mayor temperatura y potencia solar, incrementos relacionados más bien a que el sistema busca completar el balance de energía debido a el deficit de potencia generado por las turbinas a gas de los actores previamente mencionados.

4.4 Gráfico “Promedio de Operación Hidráulicas vs Temperatura Derating”.

Se logra apreciar que debido al déficit de energía térmica producto del Derating de Temperatura en la sala donde este efecto se encuentra activo, los actores hidráulicos tiene que disponer de más de esta energía para poder satisfacer la demanda establecida en la simulación y así seguir cumpliendo el balance de energía

del sistema a costa de aumentar el caudal turbinado en las centrales hidráulicas. Además, se logra apreciar en mayor medida el aumento del caudal turbinado cuando la temperatura ambiente es máxima.

Si bien para esta simulación la energía hidráulica sopesa la pérdida de generación de los actores térmicos también se puede dar el caso donde este déficit implique la entrada al sistema de un generador térmico más costoso, o inclusive la importación.

4.5 Gráfico “Costo Variables de los recursos vs Temperatura Derating”.

Tener en consideración el efecto de Derating de Temperatura en la sala, puede implicar un incremento en el despacho de energía hidráulica, uso de generadores térmicos más costosos e importación de energía, ocasionando que aumente el valor del agua creciendo, el valor del precio spot y el costo marginal en todo Uruguay. Fenómeno que se aprecia en mayor medida en los momentos del día con mayor temperatura ambiente.

5.Posibles futuros trabajos.

- Las centrales térmicas también se ven afectadas por otras variables atmosféricas como lo pueden ser: la presión y la humedad específica. Agregar el efecto de estas otras variables en la simulación también permitiría una modelación más completa de las mismas.
- Comprendiendo como la temperatura ambiente puede afectar la potencia máxima que pueden ofrecer las turbinas a gas y conociendo que cada modelo de turbina tiene una curva característica asociada, es importante definir correctamente dicha curva para cada generador y así lograr un comportamiento más real y exacto en las simulaciones con el SimSEE.
- Teniendo en consideración que el efecto derating no solo afecta a las turbinas a gas, otro futuro trabajo sería el estudio de este efecto sobre las centrales térmicas asociadas a turbinas de vapor y motores de combustión interna.
- Las condiciones ambientales al depender de la ubicación geográfica permite que cada central térmica esté expuesta a un distinto factor derating para un mismo instante de tiempo, por lo que, lograr modelar las condiciones locales con una fuente de CEGH permitirá obtener un pronóstico del comportamiento más acertado.