

# Valorización de bancos de baterías en redes de distribución

Autores: *Rodrigo Lagreca, Matías Loinaz, Federico Bidegaray*

Instituto de Ingeniería Eléctrica - FING.  
Trabajo final curso SimSEE edición 2020  
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 de este estudio es evaluar el funcionamiento de un banco de baterías en un nodo de la red de distribución, para optimizar los costos de suministro teniendo en cuenta los costos marginales del sistema (CMG) y aprovechando los momentos en los cuales la energía es más económica. Esta situación es de particular importancia en nuestro país, dada la fuerte participación de energías renovables no convencionales en la matriz energética, pudiendo representar una oportunidad en función de los costos de inversión de las tecnologías de almacenamiento y su evolución.

La presente investigación continúa los trazos del trabajo realizado el año pasado<sup>1</sup>, en el cual se analiza la incorporación de un banco de baterías para mejorar la calidad del servicio en un nodo particular (Pocitos) de la red eléctrica de Montevideo.

En este caso, se analiza el impacto que tendría sobre el Costo de Abastecimiento de la Demanda (CAD) la instalación de baterías, comparando los resultados para dos nodos de la red eléctrica (Pocitos y Pando). La selección del nodo de Pando se basa en que por tratarse de una zona donde se encuentran nucleados varios grandes consumidores industriales, más allá de los resultados directos sobre el CAD; se podría valorizar el banco de baterías a través de servicios auxiliares tales como la estabilización de voltaje de la red, como medida para disminuir la ocurrencia de micro cortes y/o huecos, que generan costos por paradas y desperdicios en este tipo de cliente.

---

<sup>1</sup> Incorporación de bancos de baterías como solución a problemas en líneas de transmisión; Javier Pica, Juan Pablo Sierra, Instituto de Ingeniería Eléctrica – FING, Trabajo final curso SimSEE edición 2019, Montevideo - Uruguay

## 2. Hipótesis de trabajo

El interés de este estudio se base en analizar dos alternativas para la colocación de un banco de baterías planteando dos ubicaciones posibles con diferentes características en cuanto a la demanda de energía.

Las ubicaciones planteadas en este caso son la estación de Pocitos y la estación de Pando, cabe destacar que son dos estaciones propensas a tener un comportamiento diferente ya que la primera pertenece a un barrio residencial y la segunda a una zona industrial.

Para representar la red eléctrica del país se asume un único actor que tendrá asociado los costos marginales de la generación en Uruguay.

Se asume que no existen generadores conectados de manera directa a este nodo y que la energía que es consumida por éste proviene por una línea cuya capacidad es suficiente para abastecer la demanda. Los datos utilizados para las demandas provienen de la empresa de energía eléctrica UTE que cuenta con datos históricos del consumo energético asociado a los diferentes nodos y se puede esperar con buena confianza un consumo de similares características con un aumento de 2.5% respecto al año anterior.

Las baterías se dimensionan bajo la hipótesis de que tenga una incidencia representativa en la red pero que al mismo tiempo sea viable técnica y económicamente.

## 3. Metodología

A partir de la demanda de las estaciones MVF (Pocitos) y PANDO se plantean dos escenarios base tratando de tener una representación lo más parecida a la realidad de estos dos nodos ubicados en el área metropolitana de Montevideo.

Por otro lado, se crean otros dos escenarios añadiendo un banco de baterías a cada uno de los escenarios anteriores. El banco de baterías se configura con las mismas características en ambos casos.

De esta forma, los escenarios que se van a simular son los siguientes:

- “Base\_Pocitos”: Representación nodo Pocitos similar a la realidad actual
- “Base\_Pando”: Representación nodo Pando similar a la realidad actual
- “Base\_Pocitos\_BB”: Representación nodo Pocitos incorporando banco de baterías.
- “Base\_Pando\_BB”: Representación nodo Pando incorporando banco de baterías.

El presente estudio se realizó utilizando como referencia el trabajo del año pasado mencionado, sin embargo, se crea una sala nueva con variantes respecto a la anterior.

A continuación, se describe el proceso seguido para crear la nueva sala:

- ***Ajustes de la sala***

La sala se configuró con paso horario para una mayor precisión en la información brindada, especialmente para analizar la dinámica de la batería. En el apartado “variables globales” se ajustan los parámetros, un solo poste con duración de una hora.

- Periodo de optimización: 01/01/2019 al 01/01/2021
- Periodo de simulación: 01/01/2019 al 01/01/2020

- ***Actores considerados***

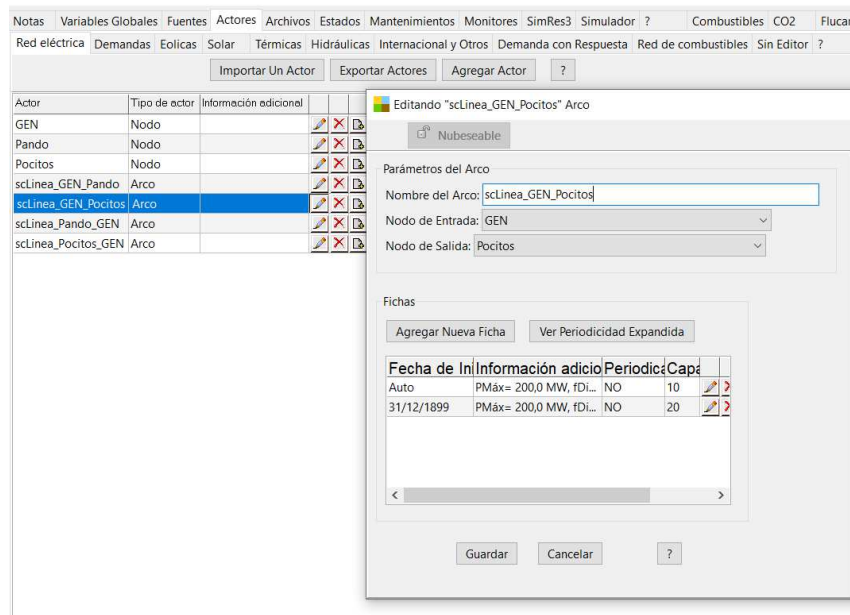
- **Red eléctrica**

El sistema eléctrico modelado en este trabajo cuenta con tres nodos. Dos de estos nodos son para representar las demandas “Pocitos” y “Pando”, el otro nodo “GEN” representa el sistema eléctrico uruguayo.

El nodo GEN es común a todos los escenarios, los nodos Pocitos y Pando se ubican en diferentes capas junto a sus respectivos arcos.

Para representar las líneas eléctricas que unen la generación con los consumos se crean dos arcos con direcciones opuestas para cada situación: “scLinea\_GEN\_Pocitos”, “scLinea\_Pocitos\_GEN”, “scLinea\_GEN\_Pando” y “scLinea\_Pando\_GEN”.

La capacidad de los arcos se sobredimensiona con la idea de simular una estación en la que no se producen fallas por la incapacidad de la línea. Se supone una disponibilidad de 0,97 y un tiempo medio de reparación de 72 horas.

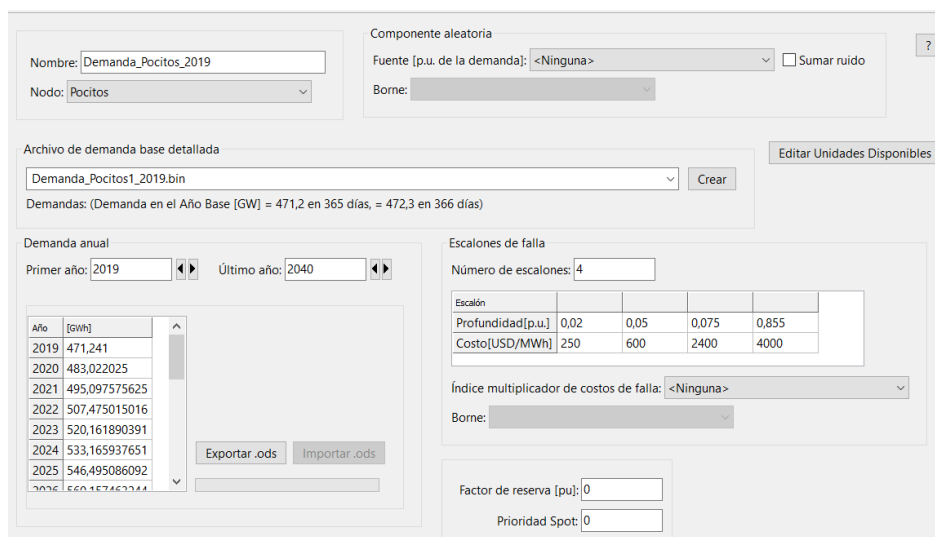


## - Demanda

Se crean dos demandas para representar los consumos de cada estación mediante la funcionalidad “importación .ods”.

Una demanda queda asociada al nodo Pocitos de nombre “Demanda\_Pocitos\_2019” y la otra demanda queda asociada al nodo Pando llevando el nombre “Demanda\_Pando\_2019”.

Los datos de las demandas utilizadas se obtienen tras haber procesado la demanda de Uruguay por estaciones del año 2019. Resultando una demanda total de 471,2 GWh en el año base de Pocitos y de 412,9 GWh en el año base de Pando, se proyectan hasta 2040 aplicando un factor de 1.025 correspondiente a un aumento anual esperado de 2,5%.



## - Parque generador

El parque generador asociado al nodo GEN queda representado en este caso por un mercado Spot, donde se especifica un costo variable (cv) obtenido de un CEGH creado a partir de una sala PES\_ horaria donde está representado todo el sistema uruguayo.

Se utiliza el actor Spot de Mercado ya que tiene la particularidad de poder importar o exportar energía el nodo al que se encuentra conectado.

Fecha de Inicio	Información adicional	Periodica?	Capa		
Auto	PMin= -600 MW, PMa...	NO	0		

Para obtener la representación del sistema de generación eléctrica del Uruguay se simula la sala de Largo Plazo (UruguayLP\_CursoSimSEE2020) con el objetivo de obtener los costos marginales del sistema y utilizar esta información para crear un CEGH a introducir en nuestra sala como fuente de un actor SpotDeMercado que inyecte energía a lo nodo GEN con pronósticos de los costos de la generación del sistema Uruguayo.

Esta sala tiene un paso de tiempo semanal con cuatro postes de 5h, 30h, 91h y 42hs de duración respectivamente. Dado que en nuestro sistema tiene paso de tiempo horario se modifica el paso de tiempo de la sala LP tomando un poste de un una hora para la simulación.

Se simula la sala LP para el período que tiene por defecto; Aproximadamente cinco años (258 semanas). Con la simulación se obtienen los costos marginales del sistema representado en la sala LP. Esta serie de datos se procesa en el AnálisisSerial para obtener el CEGH de los costos marginales.

### Procedimiento en el AnalisisSerial

La serie obtenida de la simulación de la sala LP se ubica en la carpeta de resultados que crea SimSEE en el mismo directorio que la sala. La misma se modifica con el formato definido por AnalisisSerial.

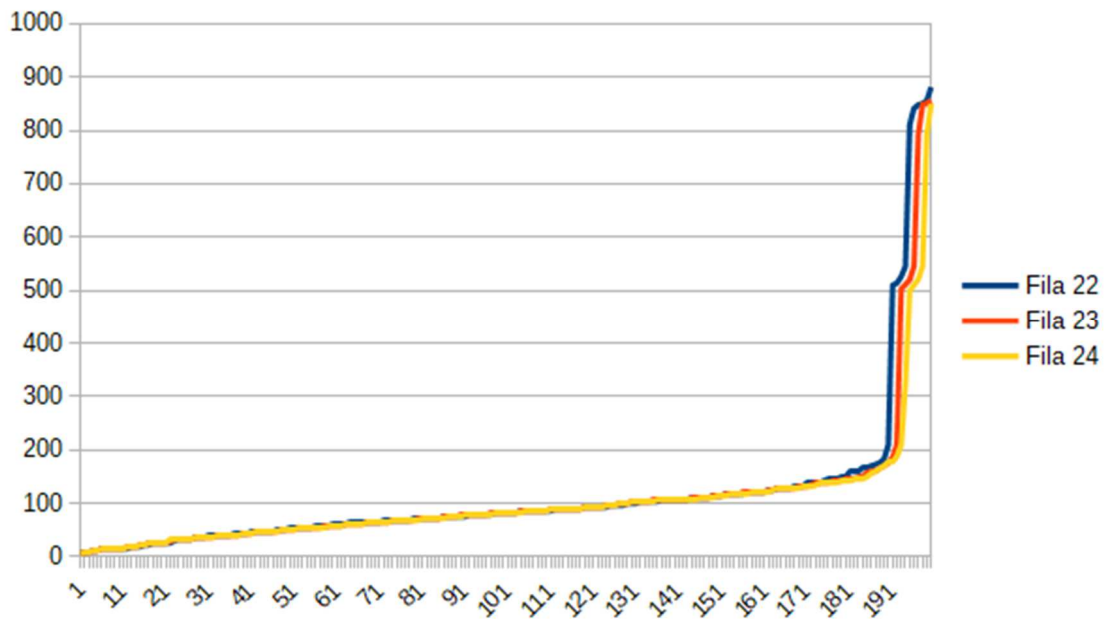
Se carga el archivo, detecta 8765 muestras/ciclo (años bisiestos) y se configura con Overlapping 3 y 24 muestras/miniciclo con Traslapping 7 para considerar la variabilidad diaria.

Se obtiene un SintetizadorCEGH con 200 puntos por función deformante con 8765 puntos por período. El CEGH define una variable de estado (cmg) con coeficientes de la matriz A y B 0,87 y 0,49 respectivamente.

Este archivo se procesa en la sala como una fuente CEGH.

A continuación se muestra una figura de los deformadores obtenidos en el SintetizadorCEGH

### Filas 22, 23 y 24 de la matriz de deformadores



### - Banco de baterías

Con el objetivo de comparar la incidencia de un mismo banco de baterías en el sistema eléctrico para dos ubicaciones distintas, se crean dos actores con las mismas características para cada nodo.

El actor “BancoBaterías\_Pando” asociado al nodo “Pando” se configura con una capacidad de almacenamiento máxima de 30 MWh y una potencia máxima de descarga de 7,5 kW.

El actor “BancoBaterías\_Pocitos” se configura con los mismos valores, pero en este caso queda asociado al nodo “Pocitos”.

**Editar ficha de "BancoBaterías\_Pocitos" Banco de Baterías**

Fecha: 31/12/1899      Capa: 20

Periodica?

Parámetros de una unidad del banco de baterías:

- Capacidad máxima [MWh]: 30
- Potencia máxima de descarga [MW]: 7,5
- Rendimiento de descarga [p.u.]: 1
- Potencia máxima de carga [MW]: 7,5
- Rendimiento de carga [p.u.]: 1
- Disponibilidad fortuita [p.u.]: 0,98
- Tiempo medio de reparación [h]: 24
- Valor de la energía almacenada [USD/MWh]: 0

Parámetros para cálculo de degradación:

- Profundidad de descarga (1) [p.u.]: 0
- Número de Ciclos (1): 0
- Profundidad de descarga (2) [p.u.]: 0
- Número de Ciclos (2): 0
- Tasa descuento [p.u.]: 0
- Costo recambio [USD/kWh-instalado]: 0
- Años recambio: 0

Pago no considerado para el despacho.  
Pago disponibilidad [USD/MWh-h]: 0

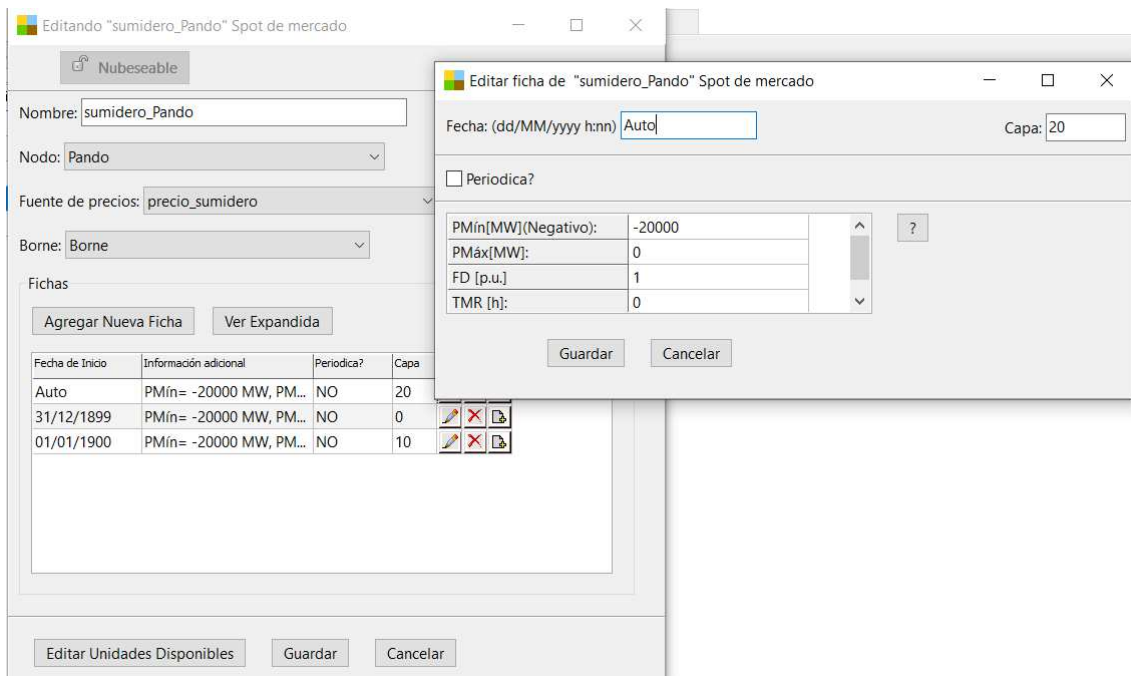
Guardar      Cancelar

## - Sumideros

Por último, se incorpora un sumidero necesario en cada uno de los nodos para absorber la energía cuando haya excedentes, para ello se crea un actor spot de mercado y se asocia a una fuente de precios creada “precio\_sumidero”.

Se dimensionan con una potencia mínima de -20000 MW, una potencia máxima de 0 MW y con un precio muy bajo para asegurarse que solo sea para tirar energía.

El actor “sumidero\_Pando” está asociado al nodo “Pando” mientras que el actor “sumidero\_Pocitos” queda asociado al nodo “Pocitos”.



## - Plantillas de SimRes3

Para analizar el efecto provocado en el costo de abastecimiento de la demanda (CAD) tras incorporar el banco de batería a los nodos de demanda, se crea una plantilla Simres3- que tiene en cuenta los actores ingresados en la sala. Esta planilla se configura de tal forma que se puedan visualizar los parámetros relevantes para sacar las conclusiones acordes al objetivo del proyecto.

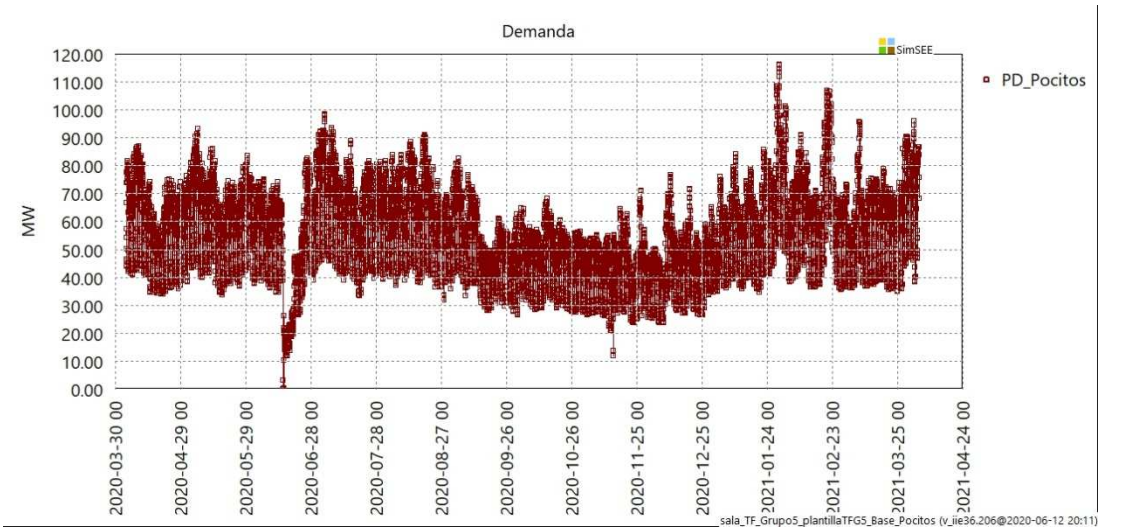
Se crean diferentes impresiones de las variables crónicas para ver: la demanda de los nodos, la generación por fuente (incluyendo la falla), la evolución de los costos marginales, el estado de carga del banco de baterías, los costos variables de la energía entregada por las baterías y el costo de abastecimiento de la demanda (CAD) en cada uno de los escenarios.

Agregar impresión de variable crónica					
Tipo	Variable crónica	Hoja	Título	Parámetros adicionales	
CompararValoresMultiplesCronVars	PD_Pocitos	Demanda_Pocitos	Demanda	Valores a Comparar= prom, Graficar= si	
CompararValoresMultiplesCronVars	E_Falla_Pocitos, E_Arco_GEN_Pocitos, ...	GBF Pocitos	Generación Baterías y Fallas	Valores a Comparar= prom, Graficar= si	
histograma	cmg_Pocitos	cmg_Pocitos	cmg_Pocitos	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...	
histograma	E_Falla_Pocitos	E_Falla_Pocitos	E_Falla_Pocitos	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...	
histograma	costo_Falla_Pocitos	costo_Falla_Pocitos	costo_Falla_Pocitos	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...	
histograma	i_Fallasubdem_Pocitos	i_Fallasubdem_Pocitos	i_Fallasubdem_Pocitos	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...	
histograma	X_Carga	X_Carga	X_Carga	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...	
histograma	cv_BB_Pocitos	cv_BB_Pocitos	cv_BB_Pocitos	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...	
histograma	CAD	CAD	CAD	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...	
CompararValoresMultiplesCronVars	PD_Pando	Demanda_Pando	Demanda	Valores a Comparar= prom, Graficar= si	
CompararValoresMultiplesCronVars	E_Falla_Pando, E_Arco_GEN_Pando, E_BB...	GBF Pando	Generación Baterías y Fallas	Valores a Comparar= prom, Graficar= si	
histograma	cmg_Pando	cmg_Pando	cmg_Pando	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...	
histograma	E_Falla_Pando	E_Falla_Pando	E_Falla_Pando	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...	
histograma	costo_Falla_Pando	costo_Falla_Pando	costo_Falla_Pando	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...	
histograma	i_Fallasubdem_Pando	i_Fallasubdem_Pando	i_Fallasubdem_Pando	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...	
histograma	X_Carga Pando	X_Carga Pando	X_Carga Pando	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...	
histograma	cv_BB_Pando	cv_BB_Pando	cv_BB_Pando	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...	

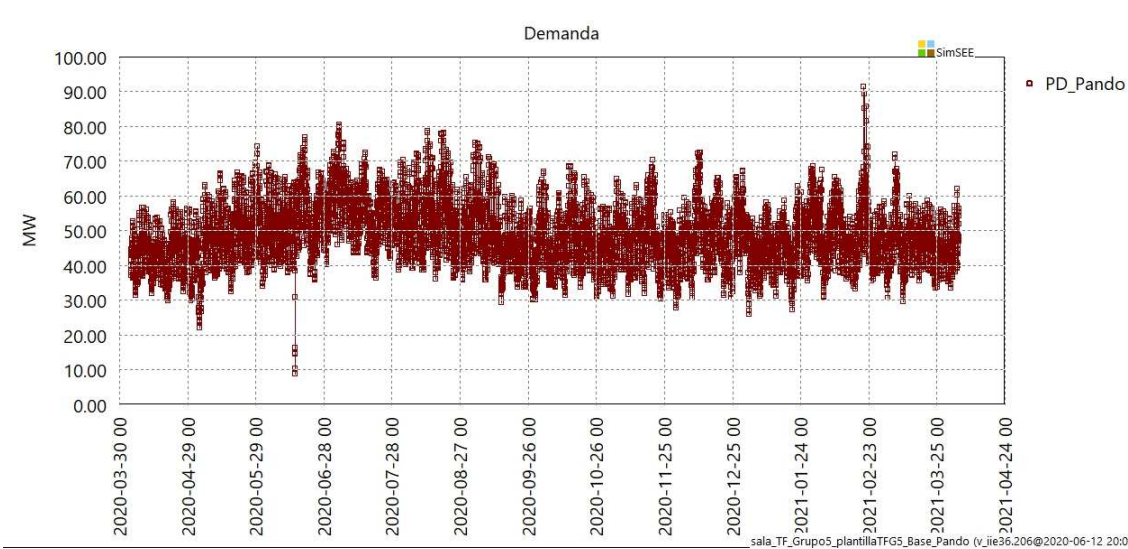
## 4. Resultados

### Demandas

#### Nodo Pocitos



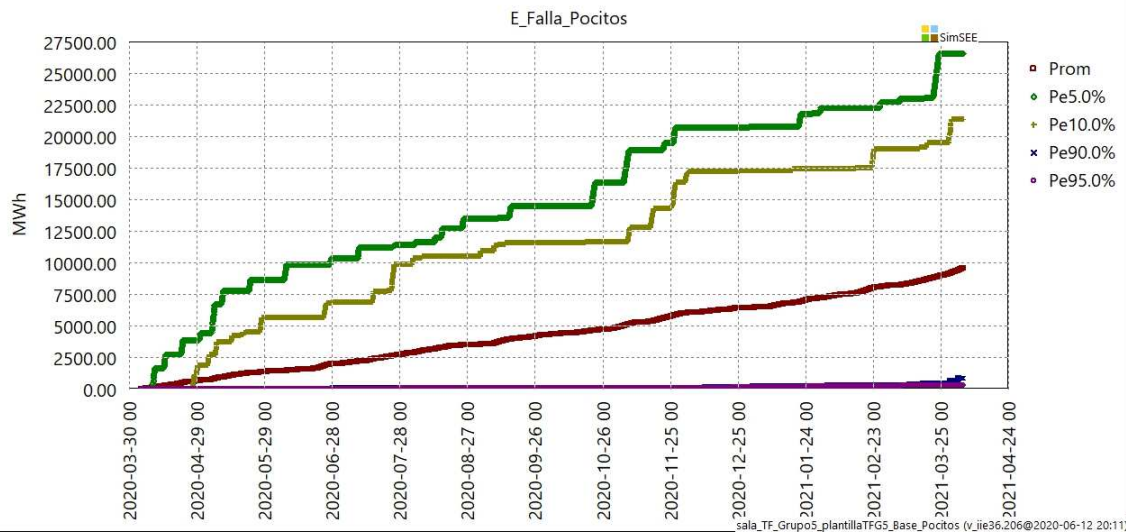
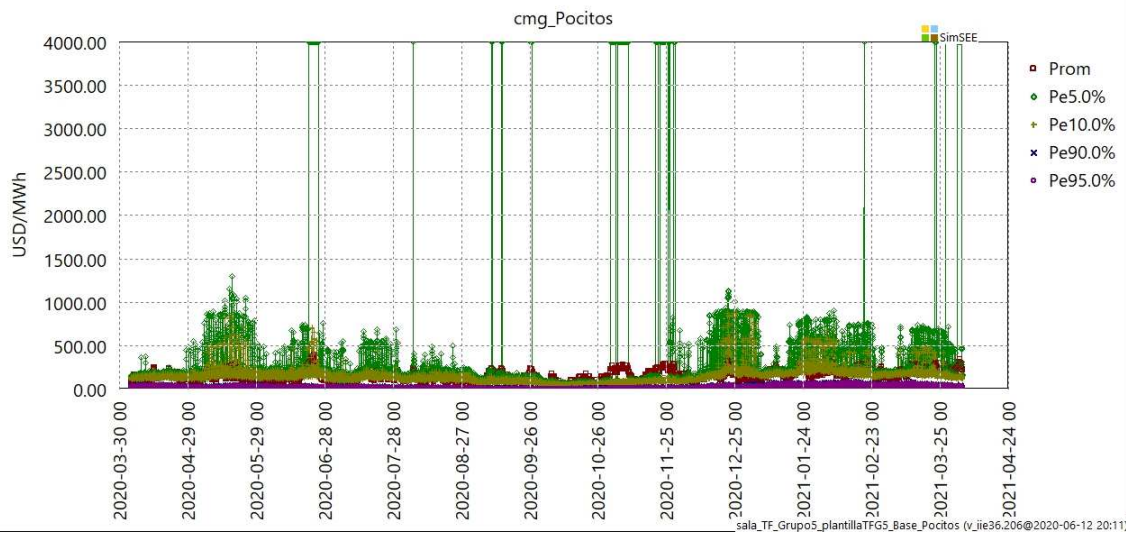
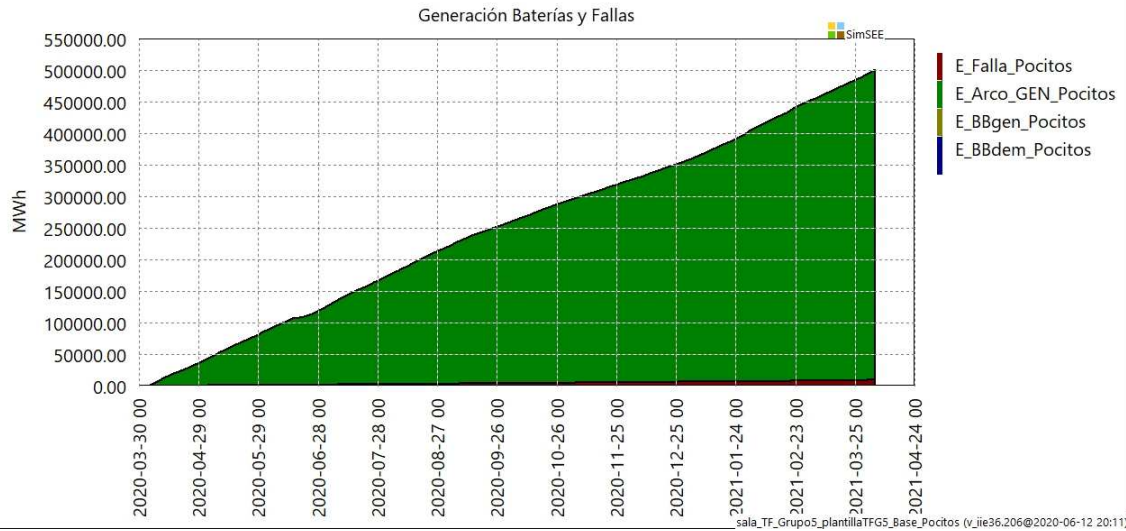
#### Nodo Pando

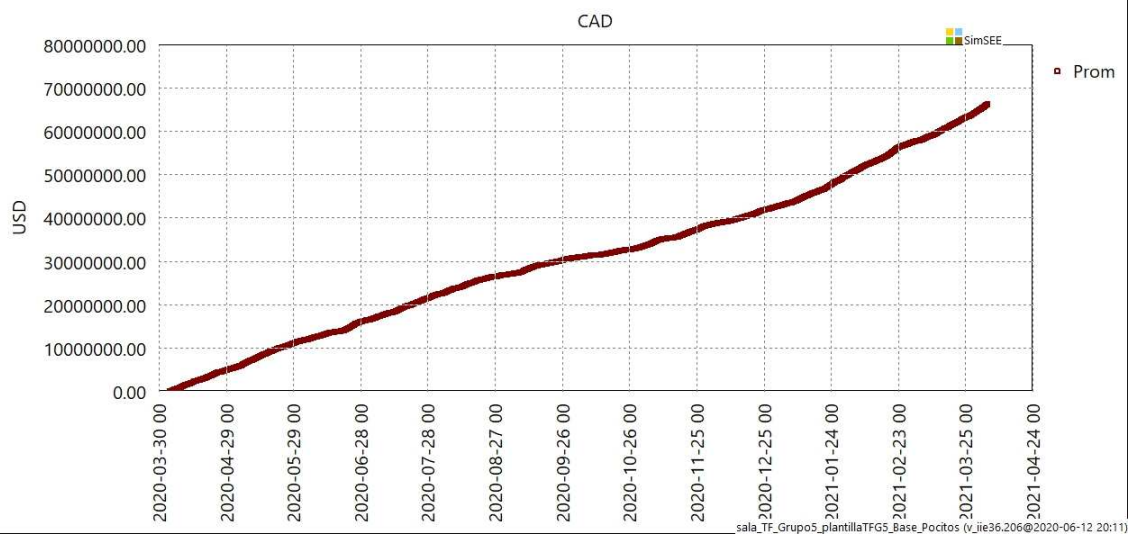
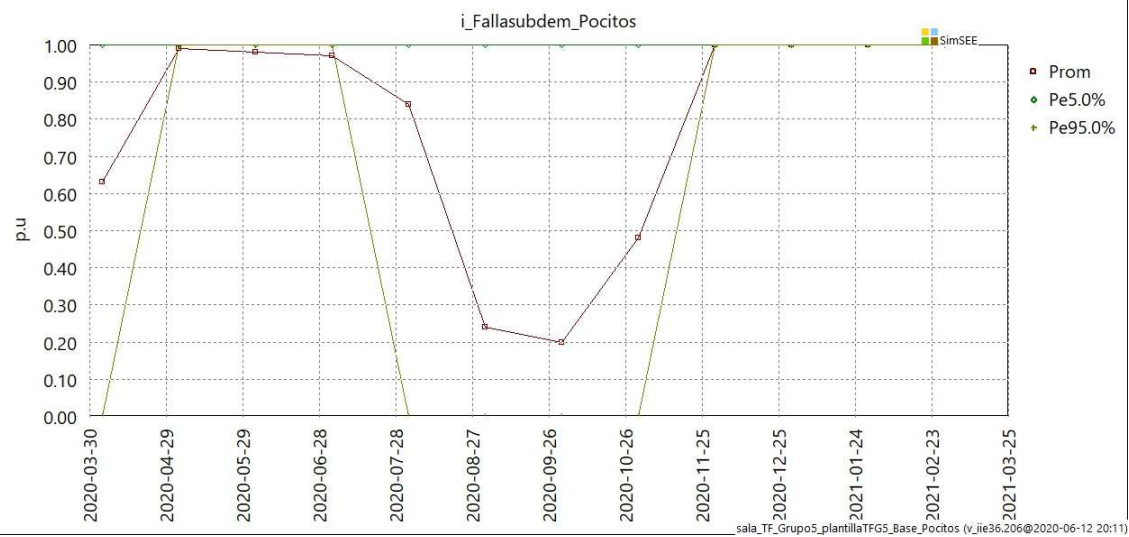
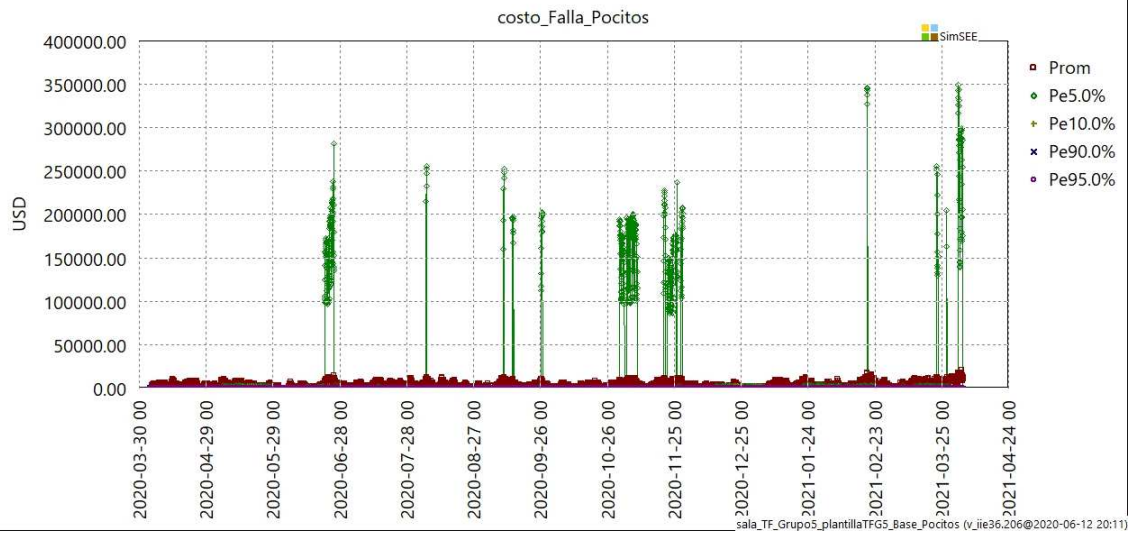




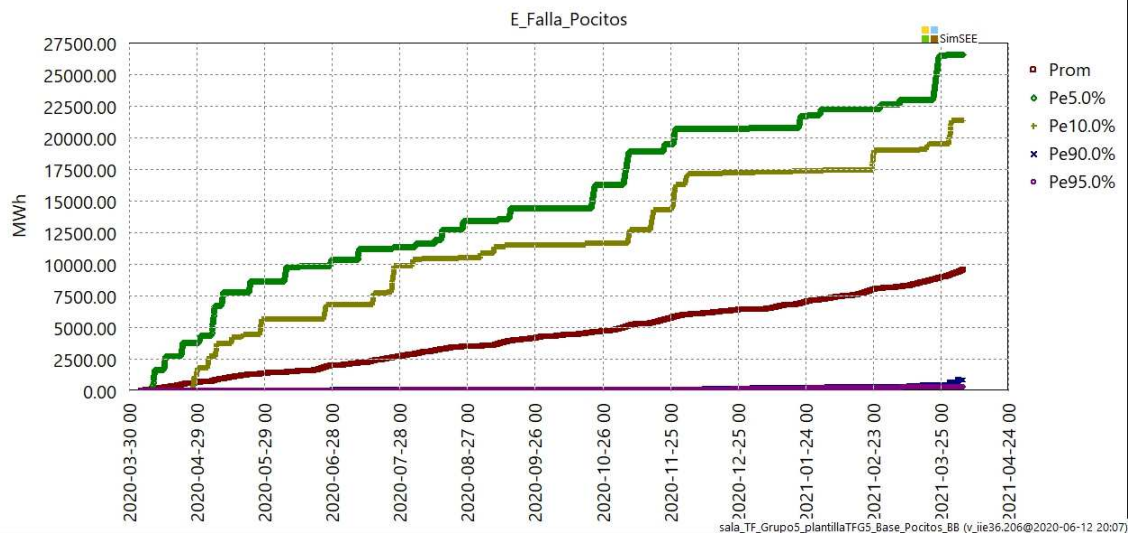
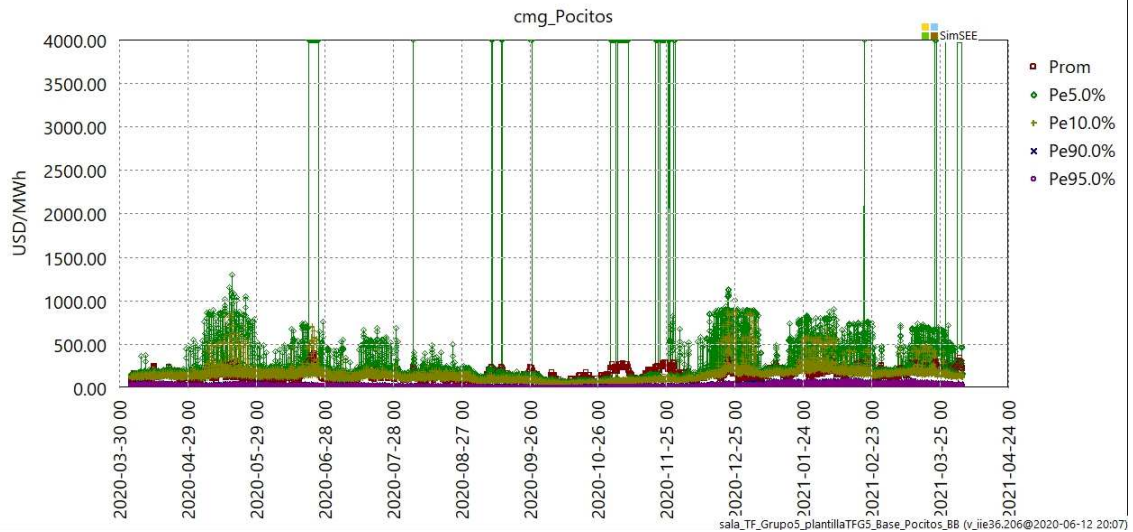
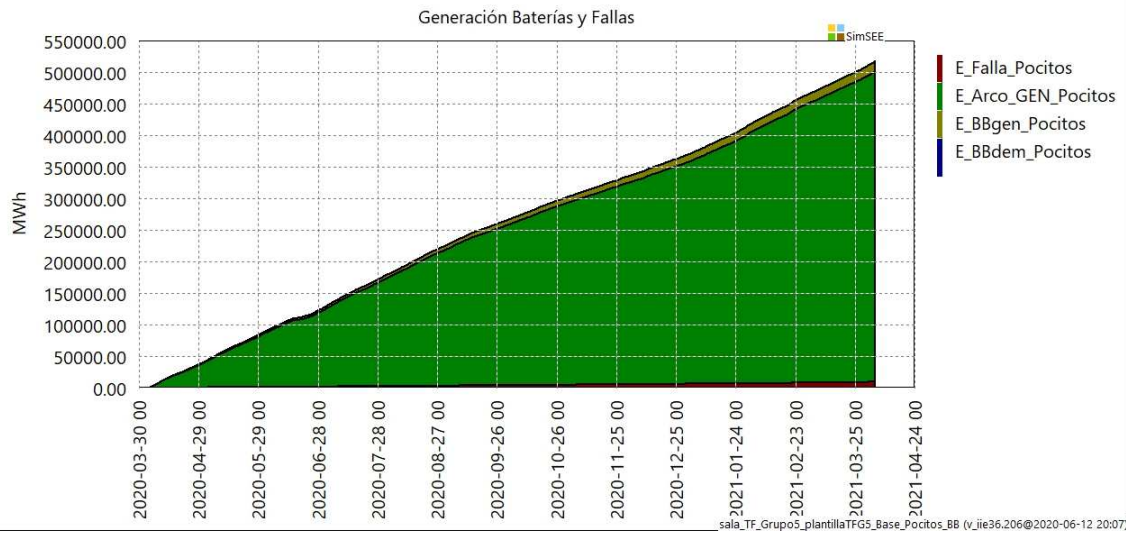
## Escenarios

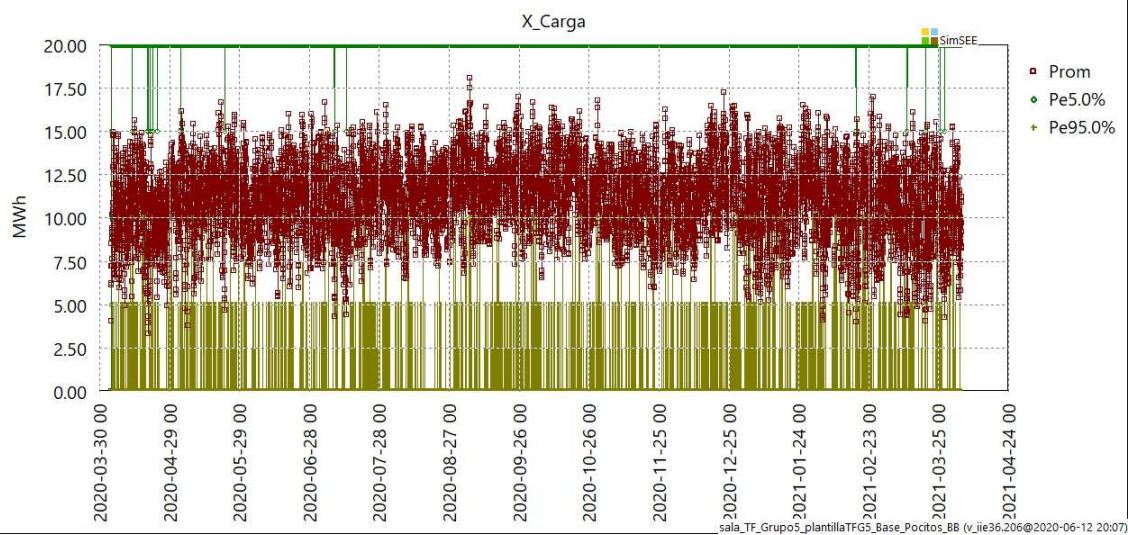
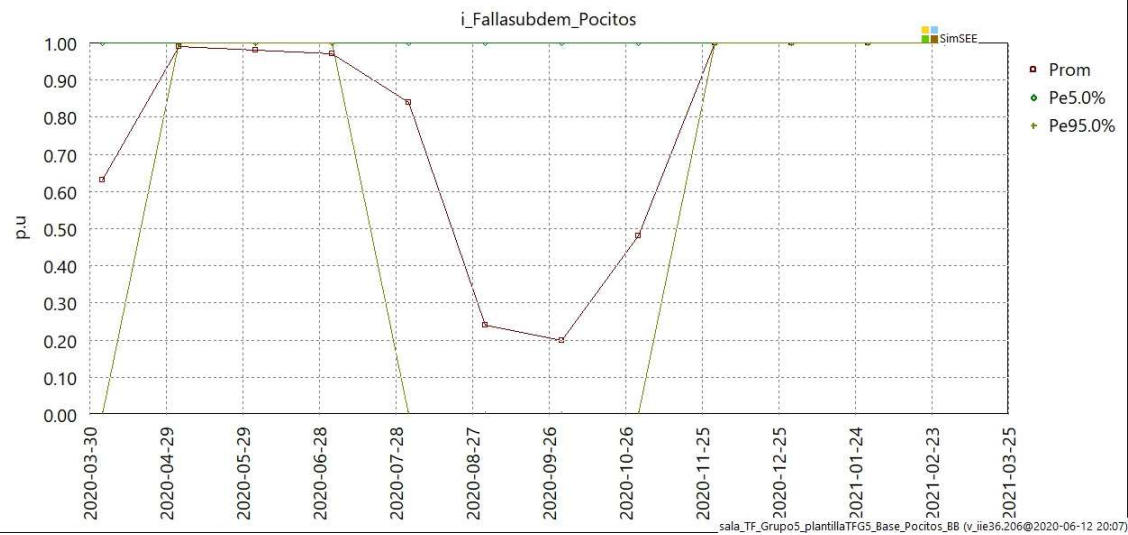
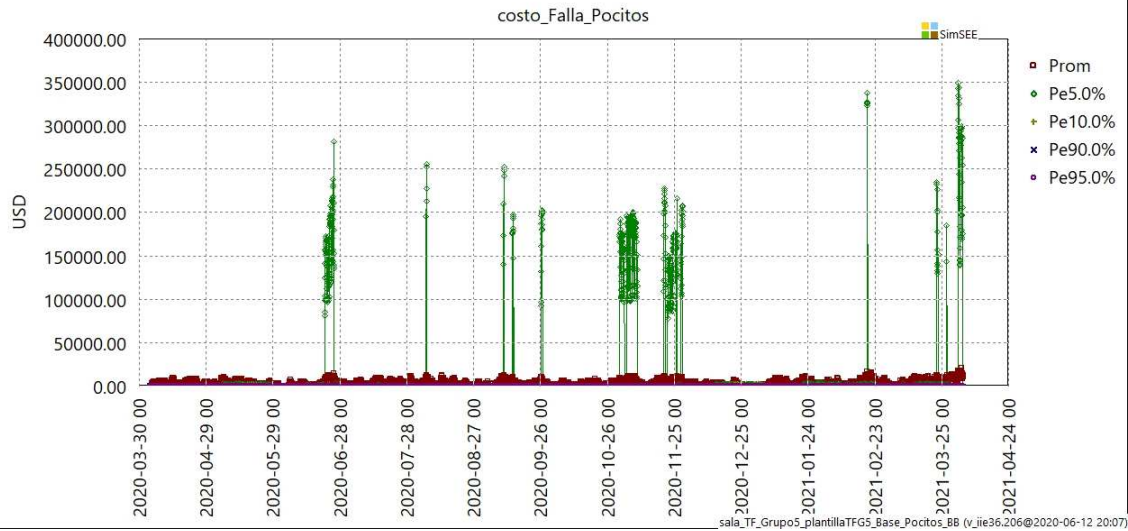
### Nodo Pocitos sin BB

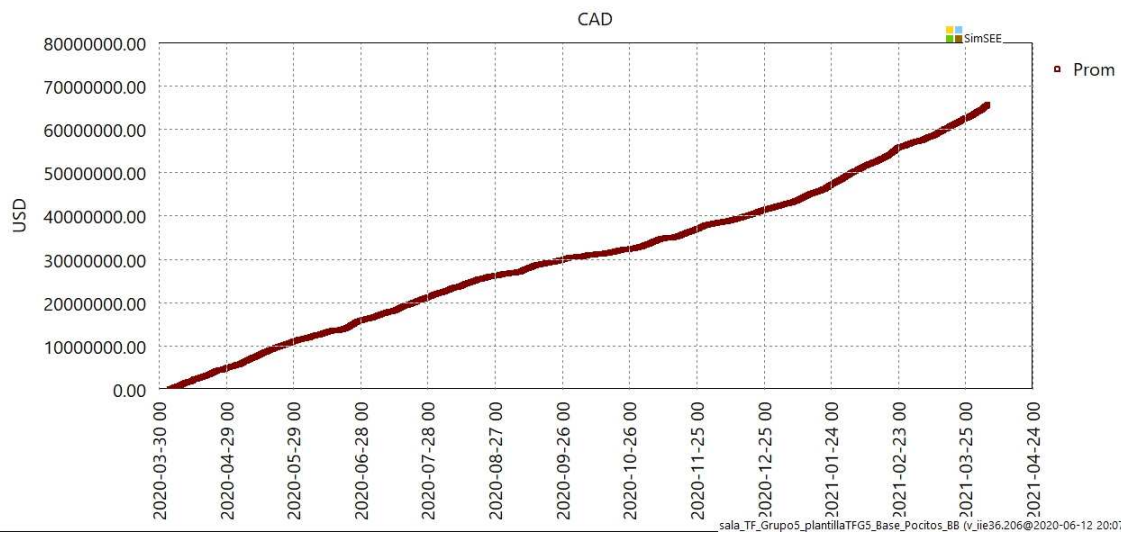
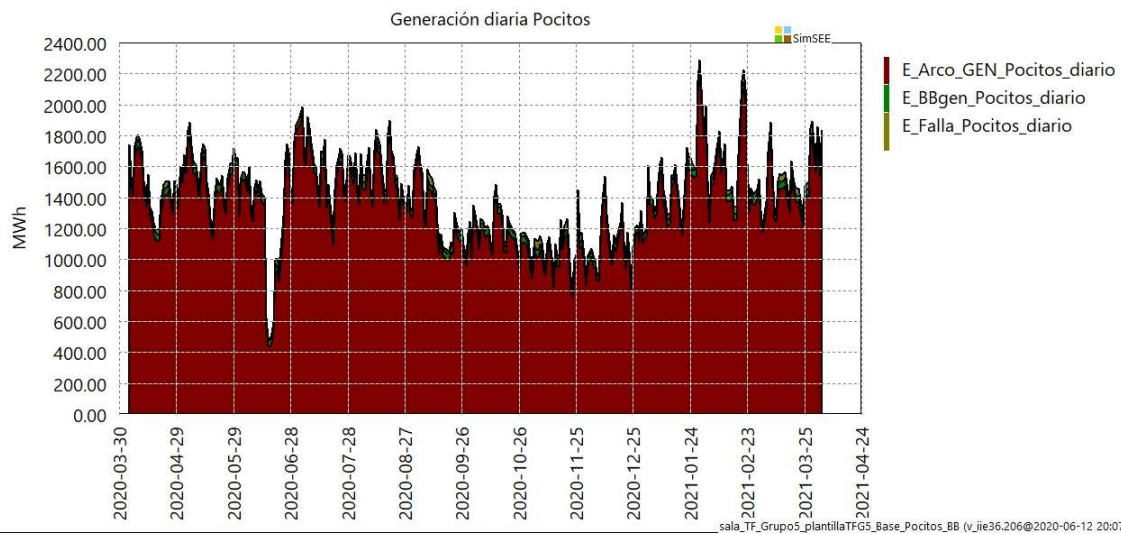
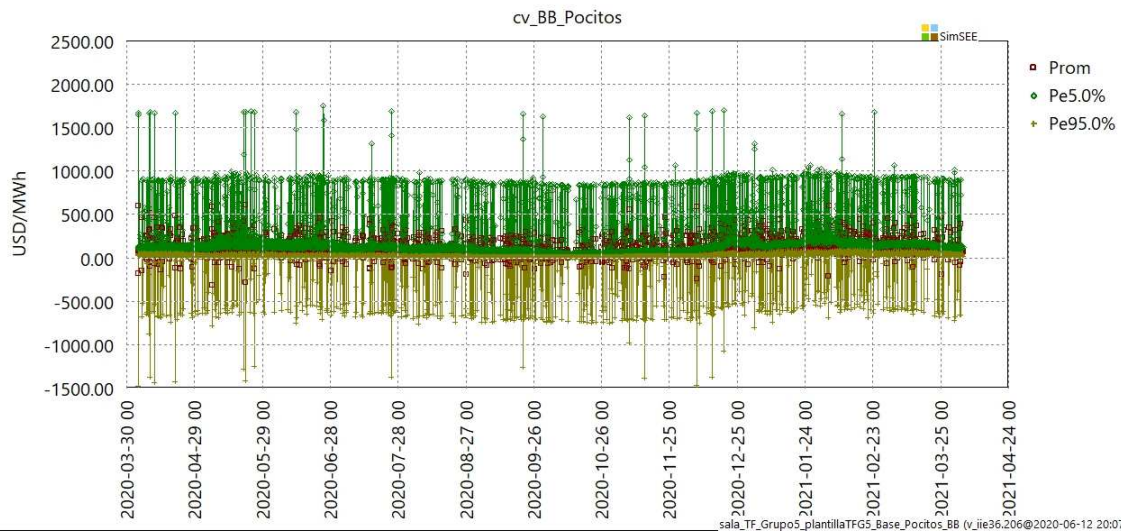




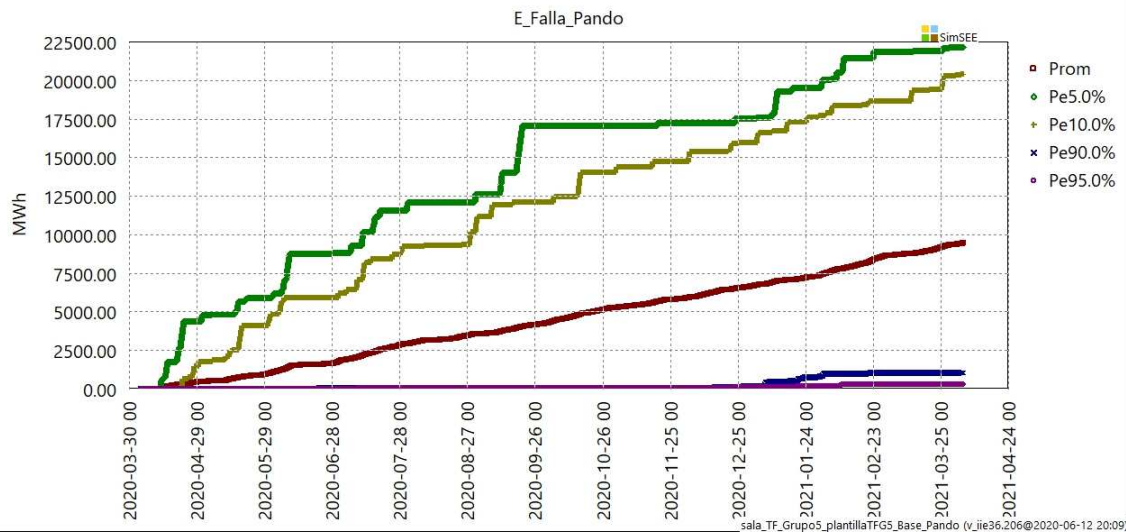
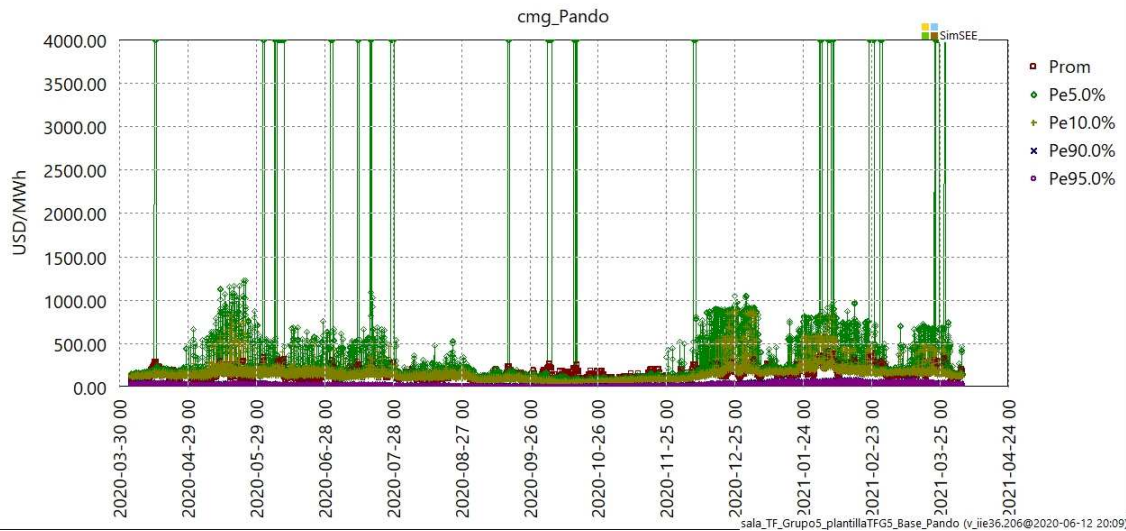
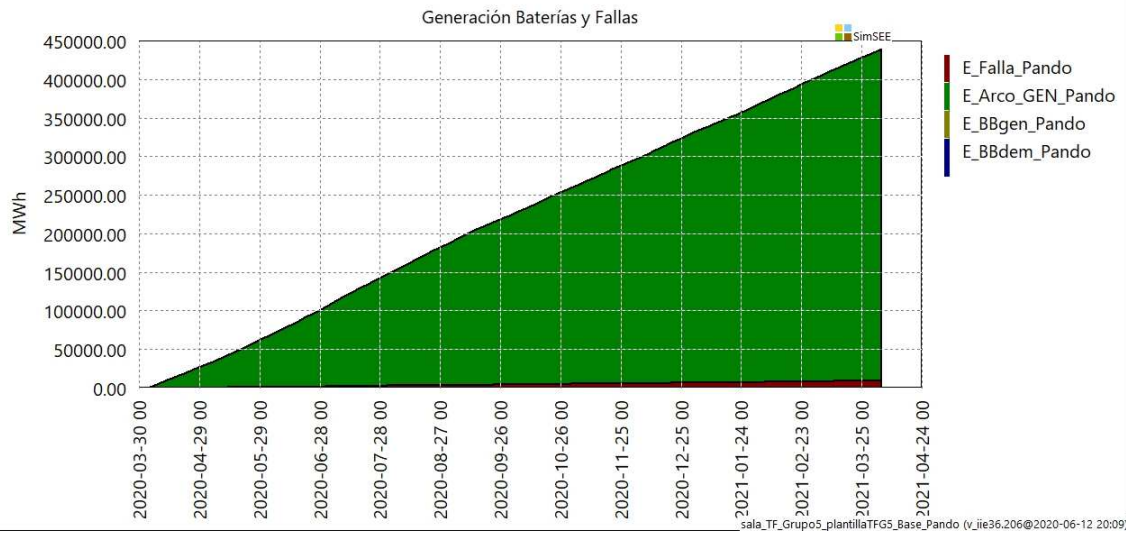
## Nodo Pocitos con BB

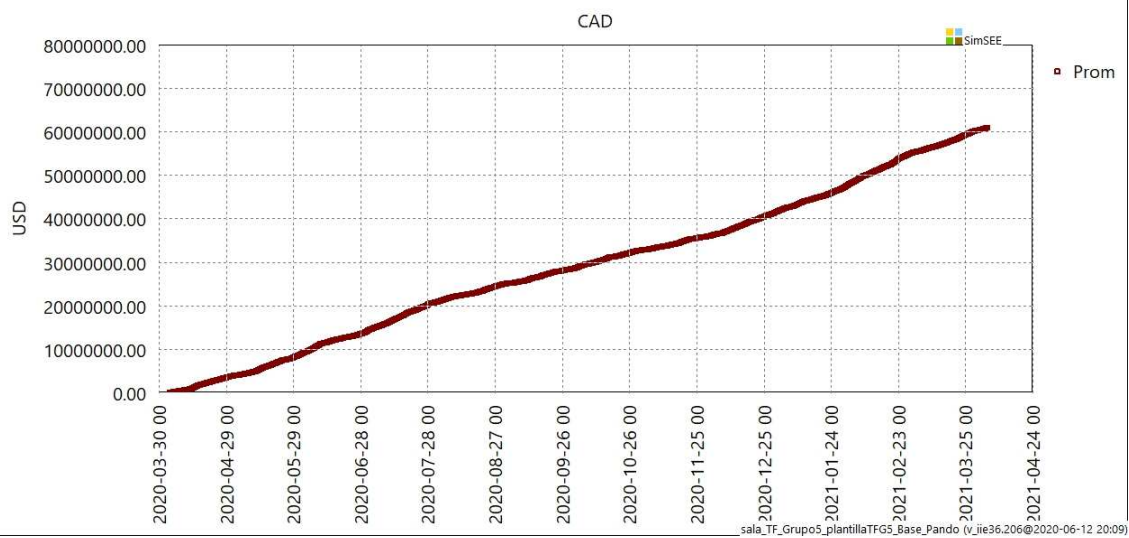
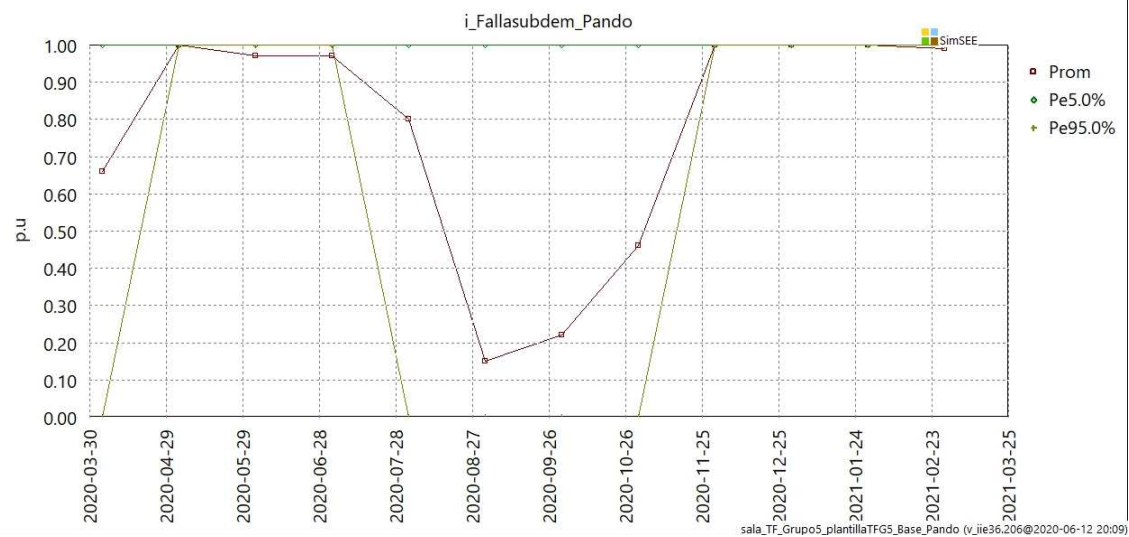
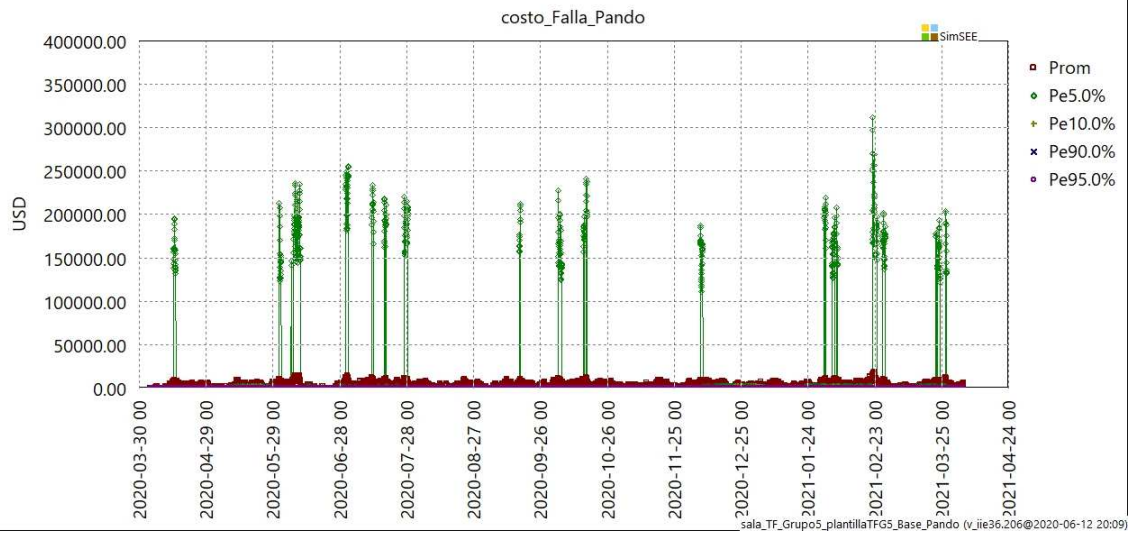




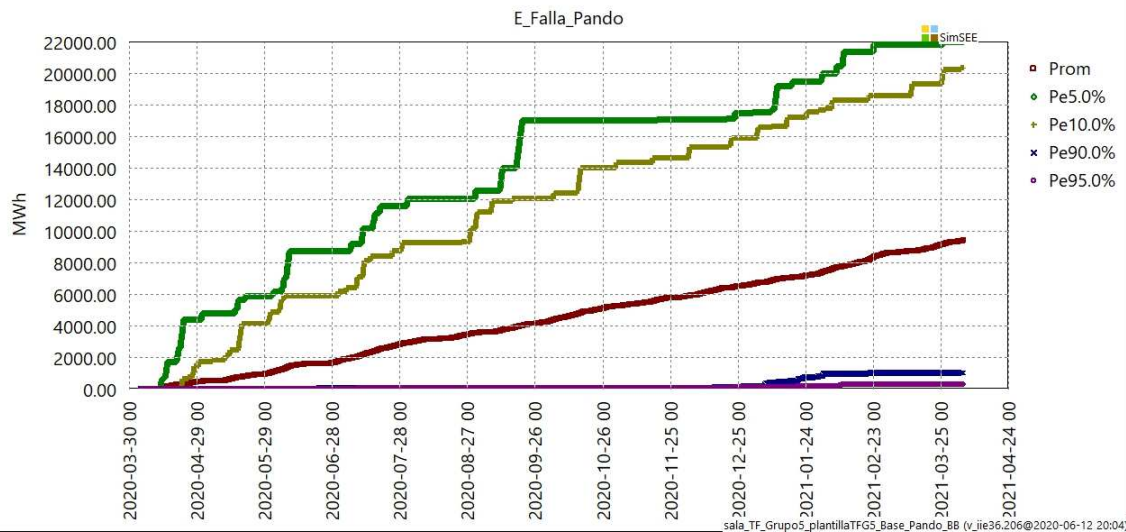
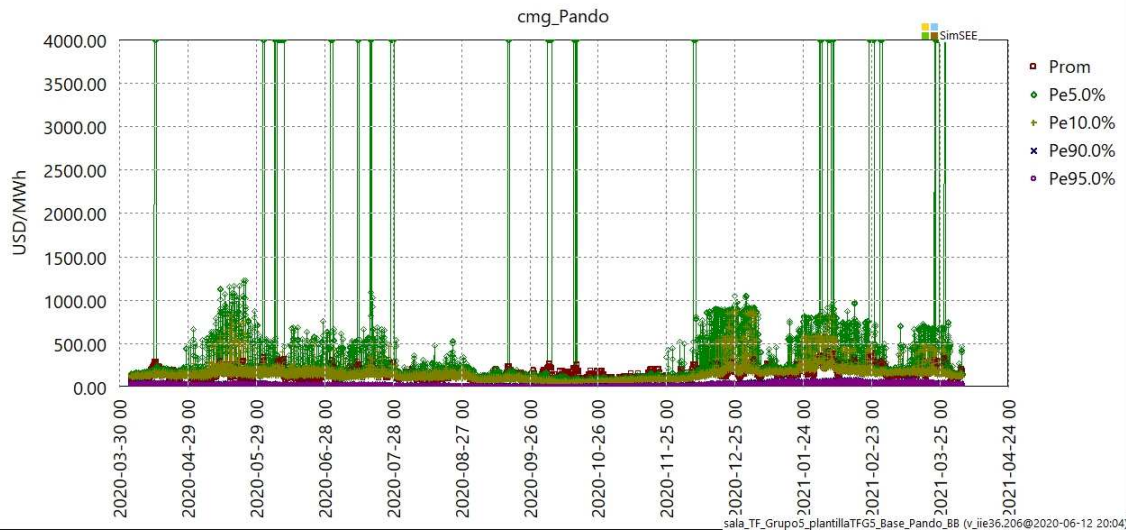
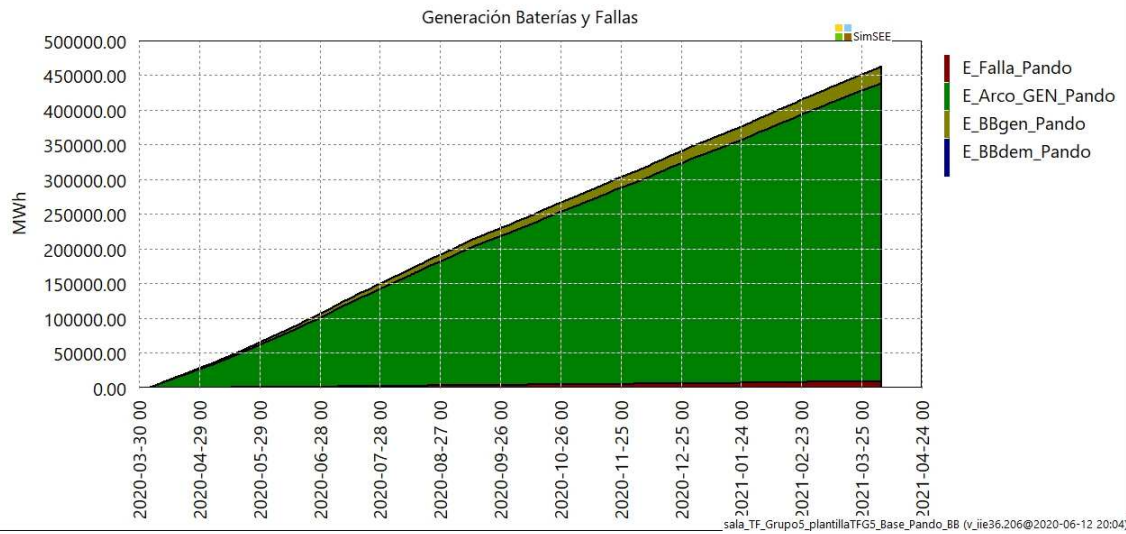


## Nodo Pando sin BB

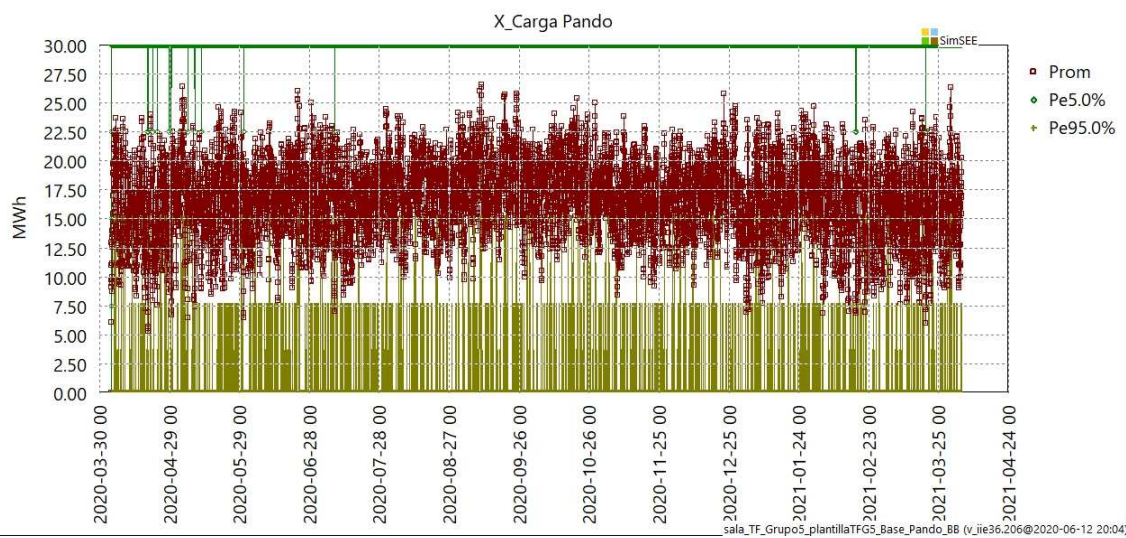
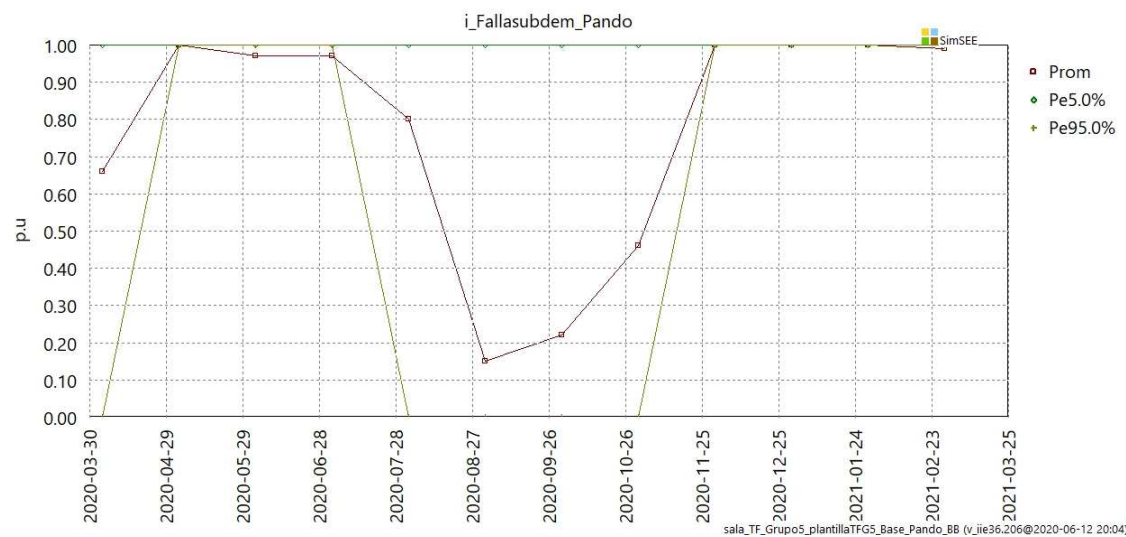
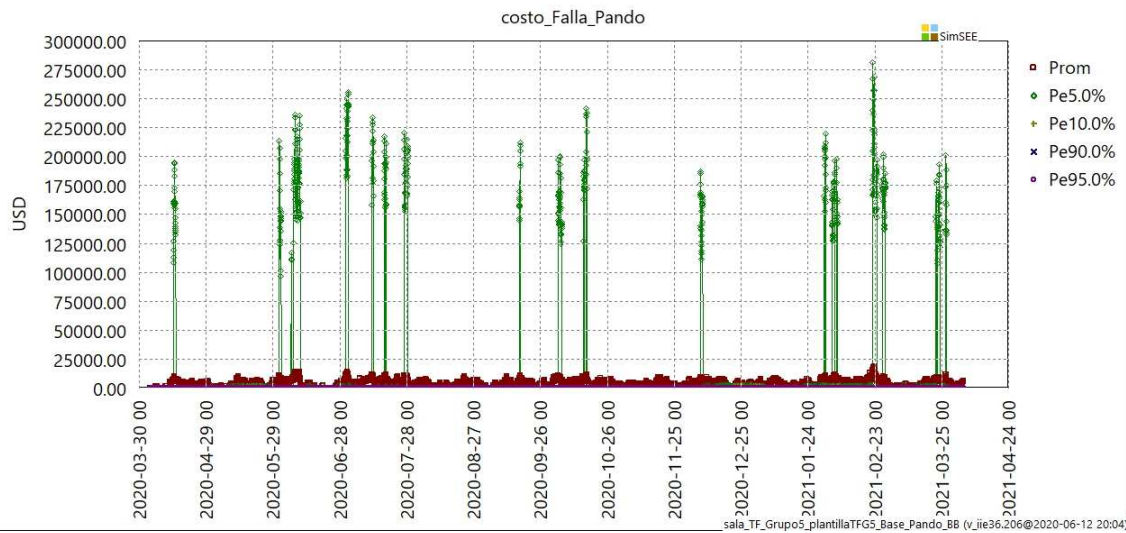


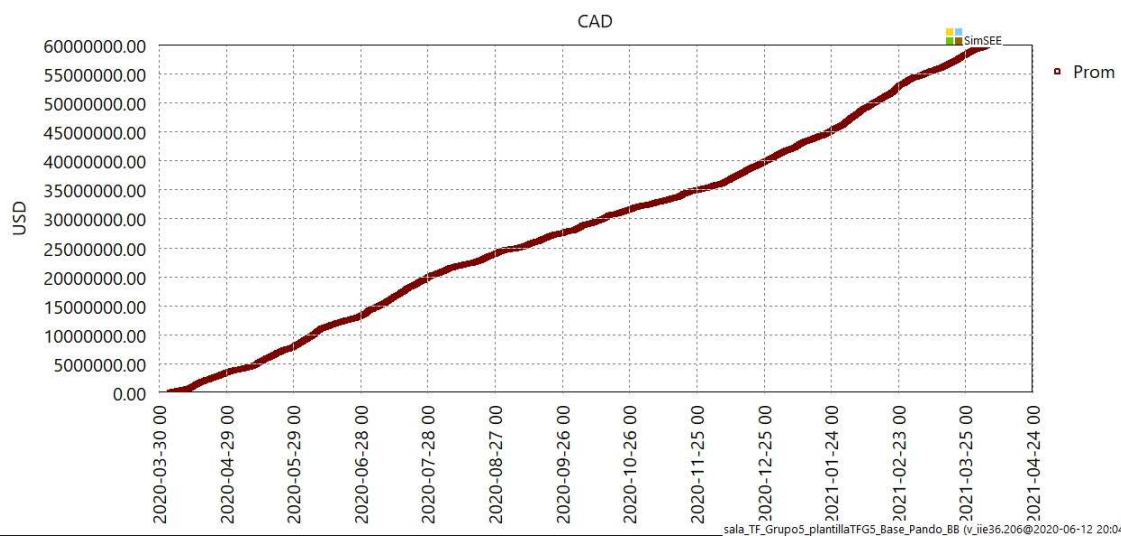
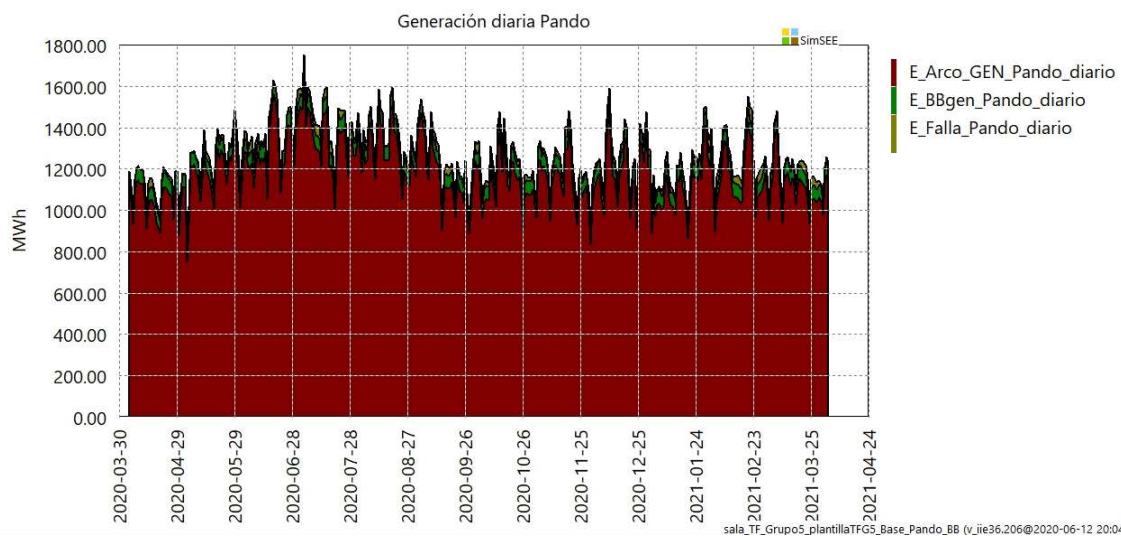
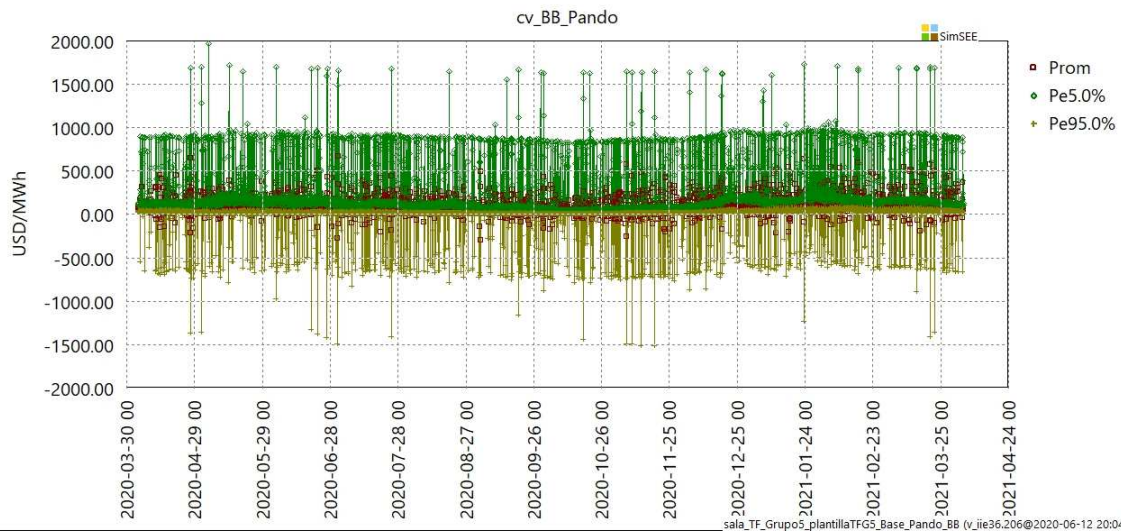


## Nodo Pando con BB









### **Discusión de resultados**

En el siguiente cuadro se resumen los CAD en millones de dólares anuales para cada uno de los escenarios. Los beneficios se calculan como la diferencia entre los escenarios con y sin baterías para cada nodo.

<b>Escenario</b>	<b>CAD (MUSD/año)</b>	<b>Beneficios (MUSD/año)</b>
Pando	60,915	
Pando BB	59,899	1,017
Pocitos	66,240	
Pocitos BB	65,572	0,668

A partir de dichos resultados, la conclusión es que es más conveniente el BB de Pando (a igual capacidad de almacenamiento y potencias máximas de carga y descarga).

En ninguno de los casos sería rentable la instalación de baterías, ya que el período de repago (tomando por ej. un valor de 500-1000 USD/kWh de BB) es mayor a 10 años, vida útil de las baterías.

Esta ecuación podría cambiar, si se considerara el valor de otros servicios auxiliares que el BB podría prestar a la red. Por ejemplo, para el caso del nodo de Pando, la disminución de los costos de paradas y desperdicios en las industrias de la zona, consecuencia de huecos y microcortes, que pueden ser mitigados mediante la estabilización del voltaje por las baterías.

Asimismo, se podría considerar la disminución de los costos incurridos por UTE en relación con la calidad del servicio prestado<sup>2</sup> y/o la posibilidad de diferir inversiones necesarias en el mantenimiento o ampliación de las redes.

### **5. Posibles trabajos futuros**

Calcular el valor de los servicios auxiliares que podría prestar el BB en el nodo, para que, acumulados con los ingresos por compra y venta de energía, el proyecto pueda resultar viable económicamente.

---

<sup>2</sup> Reglamento de Calidad de Servicio URSEA