

# **Incorporación de bancos de baterías como solución a problemas en líneas de transmisión**

*Autores: Javier Pica, Juan Pablo Sierra*

Instituto de Ingeniería Eléctrica - FING.  
Trabajo final curso SimSEE edición 2019  
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**

La energía eléctrica es un recurso indispensable para el desarrollo del país. La interrupción en el servicio puede impactar de manera muy negativa en la calidad de vida de las personas y en la productividad nacional por lo que es de interés ejecutar las acciones que permitan mitigar los factores de riesgo que incidan en la calidad del servicio.

El objetivo de este estudio es de evaluar el funcionamiento de un nodo de la red eléctrica que depende de un único arco incidente (sistema radial) y que por tanto ve afectada su disponibilidad frente a situaciones de congestión o de incidencias técnicas de la línea en sí o de los generadores que la abastecen.

La presente investigación analiza la instalación de bancos de baterías de manera local como instrumento para contrarrestar las contingencias derivadas de la red de distribución de energía eléctrica. La conveniencia de dicha inversión dependerá de la mejoría que pueda tener en lo que respecta a la reducción de la posibilidad y magnitud de fallas por lo que se considera la utilización de la herramienta SimSEE.

En este estudio se presenta un caso de análisis que no existe en la realidad y que se ha confeccionado de manera de evaluar el funcionamiento de la herramienta con un sistema eléctrico altamente estresado. Adicionalmente esta investigación se centra en la calidad del servicio y no busca optimizar costos de suministro por lo que no se

considera el costo marginal del sistema en la optimización del uso del banco de baterías.

## Hipótesis de trabajo

El ámbito de la presente investigación se reduce a un nodo de la red eléctrica del país que se une al resto del sistema eléctrico mediante un único arco y en donde existe una cierta demanda.

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 conocida. La empresa de energía eléctrica que administra esta línea cuenta con datos históricos del consumo energético asociado al nodo y se puede esperar con buena confianza un consumo de similares características con un aumento de 2.5% respecto al año anterior.

Por motivos que no se pueden detallar en este estudio, la capacidad de la línea se va a ver reducida sustancialmente de manera permanente, al punto que no podrá garantizar el suministro en todo momento. Se conoce la capacidad exacta que tendrá la línea, así como también su disponibilidad y tiempos medios de reparación. También existe la opción de llevar a cabo trabajos que permitan llevar la disponibilidad de la línea a un 100%, por lo que se estudiarán ambas opciones.

El consumo que existe en este componente de la red eléctrica es pequeño respecto a la demanda total del país por lo que puede considerarse un consumo marginal y por tanto no es necesario modelar todo el parque de generación instalado.

En este estudio se analizan alternativas para cumplir con la demanda, y en particular se investiga el impacto de bancos de baterías conectados directamente a este nodo. Se asume que cuentan con la capacidad tanto de extraer como de inyectar energía y cuyas transiciones se realizan de manera inmediata.

## **Metodología.**

Conociendo la capacidad y disponibilidad de la línea, la demanda esperable y sus costos de falla, se analizarán diferentes escenarios con opciones de bancos de baterías en lo que respecta a capacidad de almacenamiento como también de potencia máxima de carga y descarga. Se simplificará el parque generador de manera de acelerar los procesos de cálculo.

El presente estudio se realizó en base a una sala nueva. A continuación se describen los pasos que se llevaron a cabo en la confección de la misma.

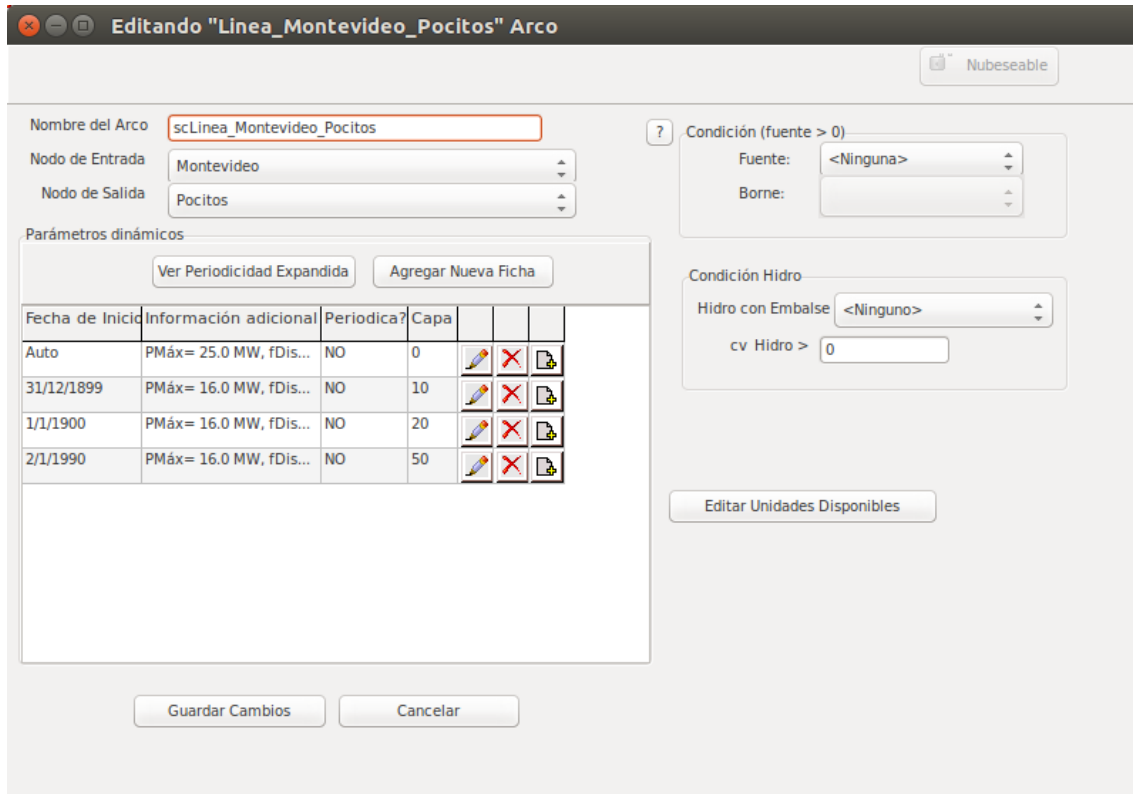
### ***Ajustes de la sala***

La sala se configuró con paso horario para una mayor precisión en la información brindada, especialmente para analizar la dinámica de la batería.

### ***Actores considerados***

#### **Red eléctrica**

El sistema eléctrico modelado en este trabajo cuenta con dos nodos, “Montevideo” y “Pocitos”, unidos por un enlace cuya capacidad y disponibilidad se ajustan en diferentes capas según el escenario a modelar.



### Parque generador

Se considera un único generador térmico que se conectará directamente al nodo “Montevideo”, de capacidad suficiente para alimentar la demanda de la que es objeto el presente estudio.

Se opta por un generador térmico por su simplicidad, el que se configura sin posibilidad de fallas.

### Demanda

Se creó una demanda asociada al nodo “Pocitos” de nombre Dem\_Pocitos.

Los datos de la demanda utilizada originan de información correspondiente al año anterior, la que fue incrementada de manera proporcional por el factor de 1.025 que corresponde al aumento anual esperado de 2.5%.

Los datos fueron cargados mediante la funcionalidad de importación de planillas de cálculo.



### **Banco de baterías**

Se creó un actor de tipo Banco de Baterías asociado al nodo Pocitos con diferentes configuraciones en diferentes capas para modelar diferentes opciones de capacidad de almacenamiento, carga y descarga.

Capacidad de almacenamiento (MWh)	Carga máxima (MW)	Descarga máxima (MW)
20	5	5
30	7.5	7.5

### ***Plantillas de SimRes3***

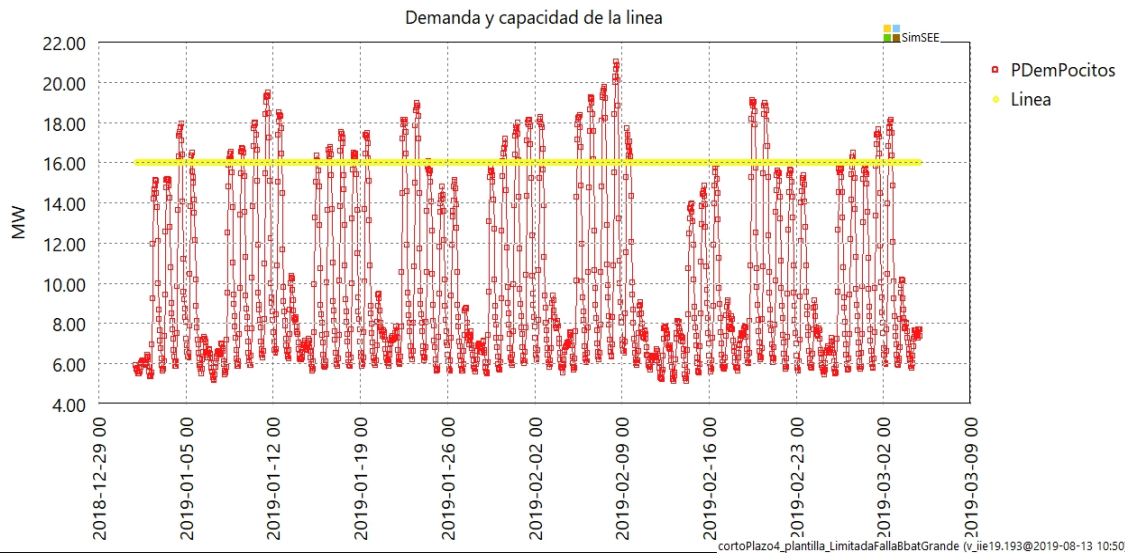
Para analizar la calidad del servicio se creó una plantilla de SimRes3 que toma en cuenta la potencia de falla en la demanda estudiada en sus diferentes niveles (PF1, PF2, PF3, PF4) y el costo asociado a la misma. Además se analiza el nivel de carga de la batería.

La potencia de falla y su costo también se acumulan para analizar su comportamiento a mediano plazo.

## Resultados del estudio

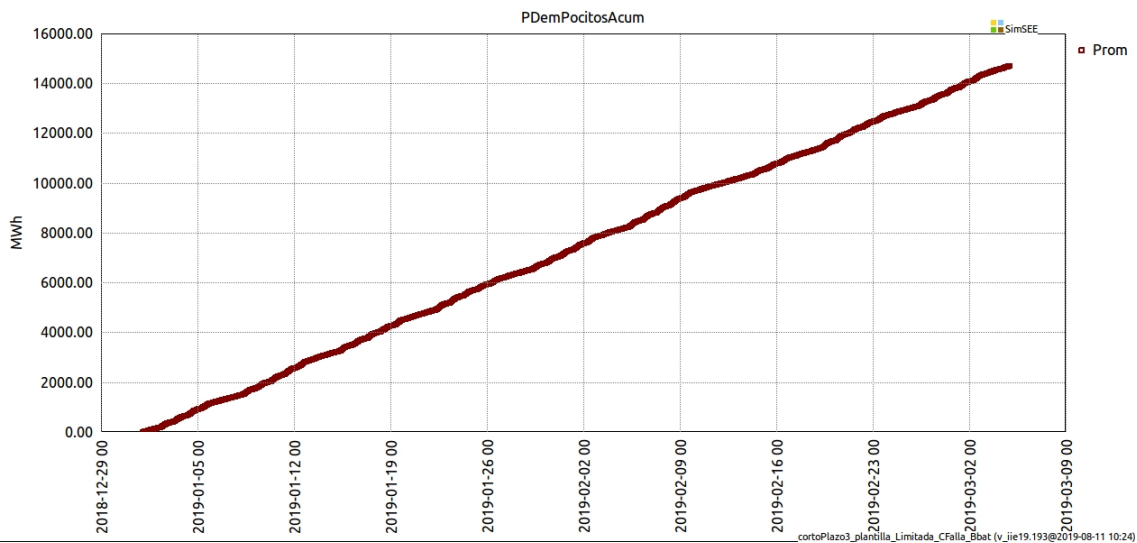
### Situación inicial

El análisis parte de una proyección de la demanda como se muestra a continuación.

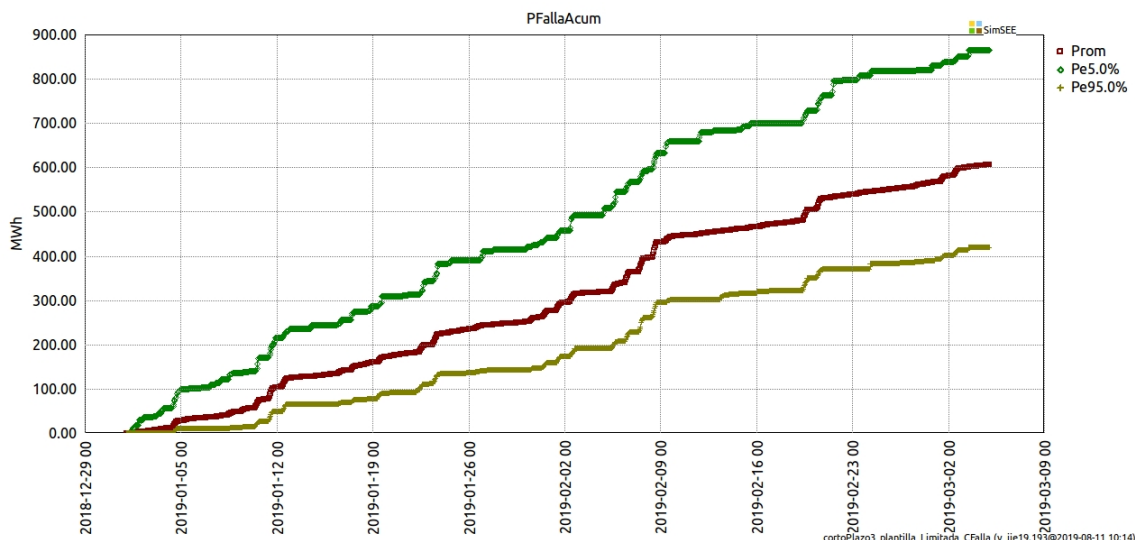


*Evolución de la demanda energética estimada y límite de la línea de 16MW*

La capacidad de la línea de 16MW no es suficiente para satisfacer la demanda en todo momento, por lo que es esperable que se den situaciones de falla. Adicionalmente existe cierta posibilidad de interrupción de la línea, lo que dificulta aún más el abastecimiento energético.



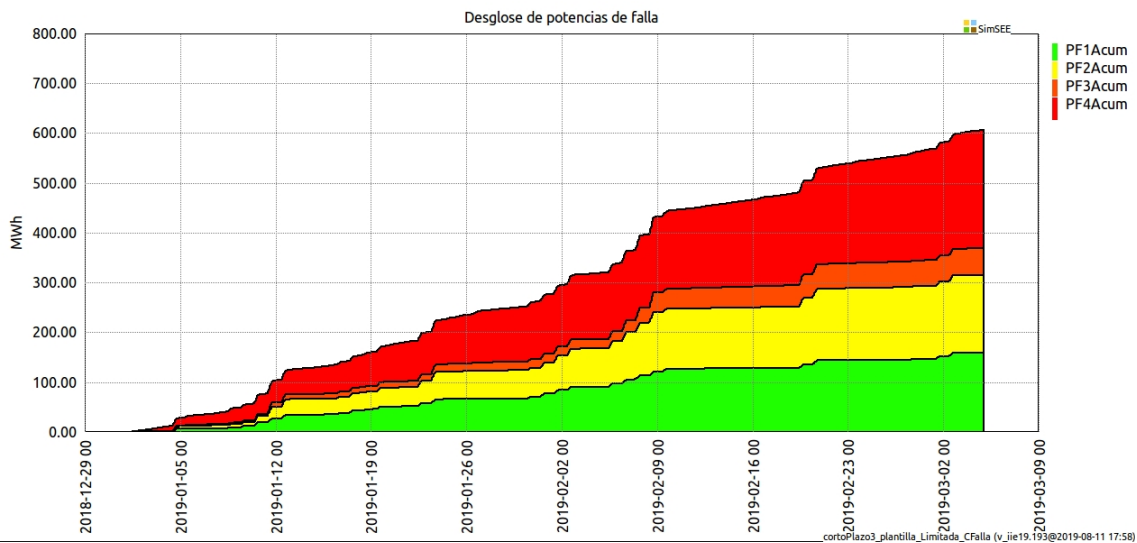
Acumulado de la energía demandada por el nodo analizado



Potencia de falla acumulada esperada en el período estudiado

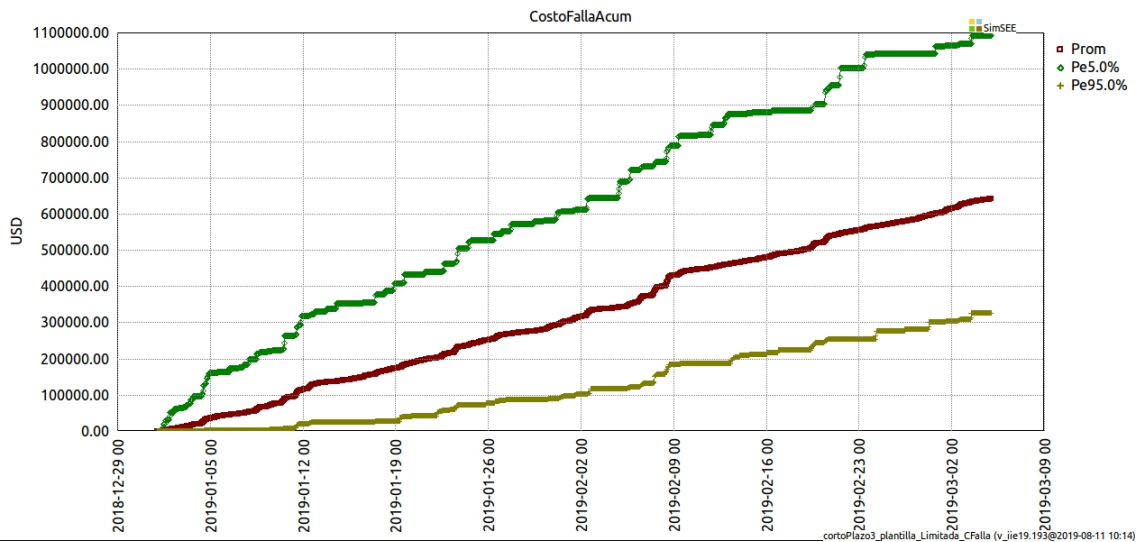
A partir del gráfico anterior se puede observar que, de los aproximadamente 1.5GWh que serán demandados en el período de estudio, se esperan fallas por 0.6GWh, que podrían ascender a más de 0.8GWh, representando una fracción superior a la mitad de la energía demandada.





Perfil de la falla promedio en el caso sin bancos de batería y línea con interrupciones

Al investigar el perfil de la falla se puede observar la profundidad de las interrupciones en el servicio, en donde es clara la predominancia del nivel más crítico de no satisfacción de la demanda.



Costo esperado asociado a la falla en el período de análisis

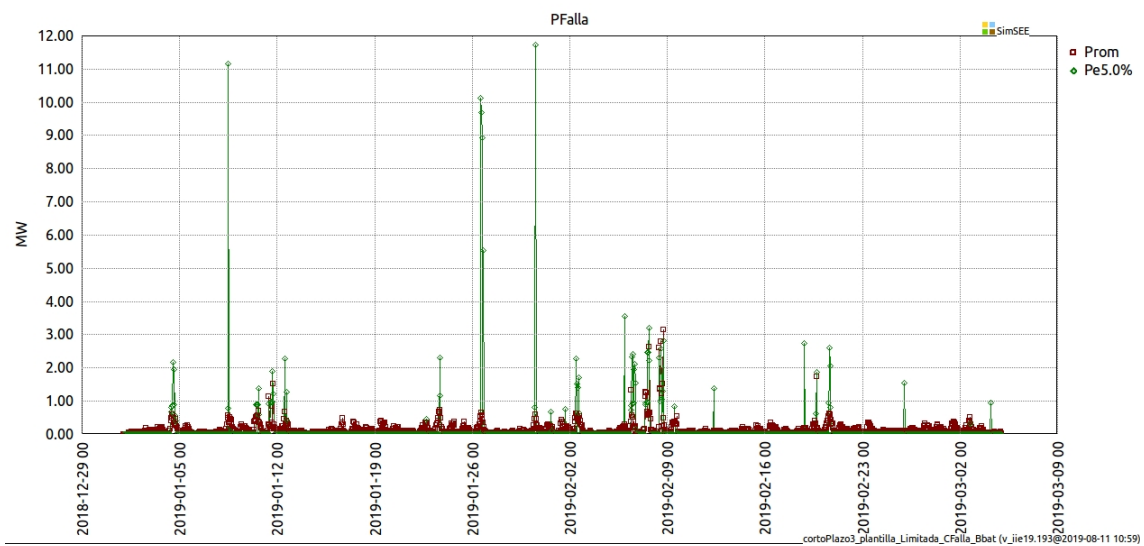
De lo anterior se desprende que puede esperarse un costo de falla próximo a los USD 650.000, con interrupciones frecuentes en el servicio.

Es de relevancia mencionar que existe un riesgo considerable de que los costos superen USD 1.000.000 al fin del período si se considera el promedio del 5% de los casos con peor desempeño.

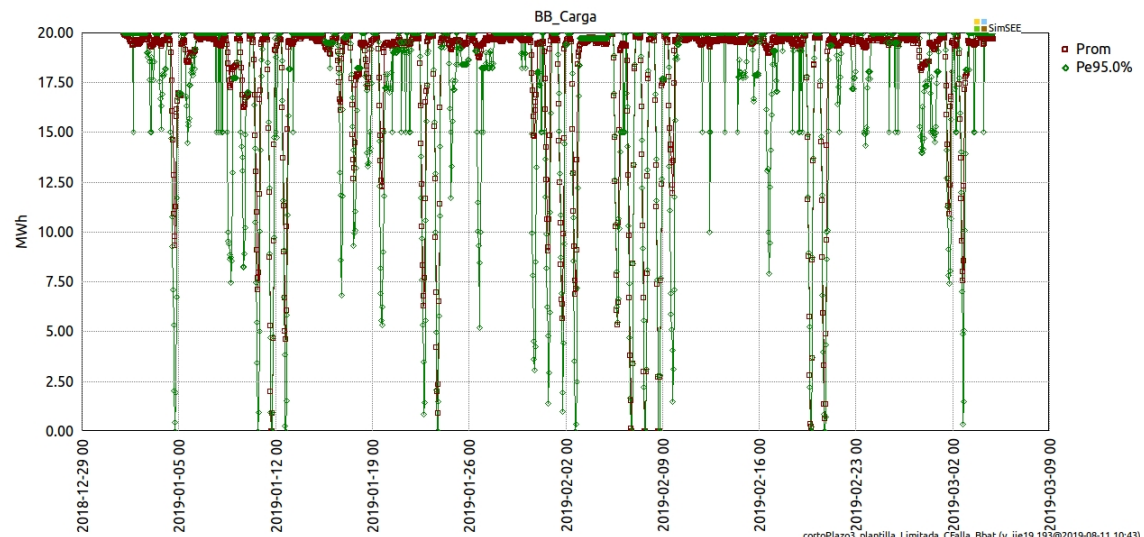
### Caso con Banco de Baterías 1

Se incorpora un actor de tipo Banco de Baterías conectado al nodo Pocitos con potencia máxima de carga y descarga de 5MW y con 20MWh de capacidad y se analiza la calidad del servicio bajo este escenario.

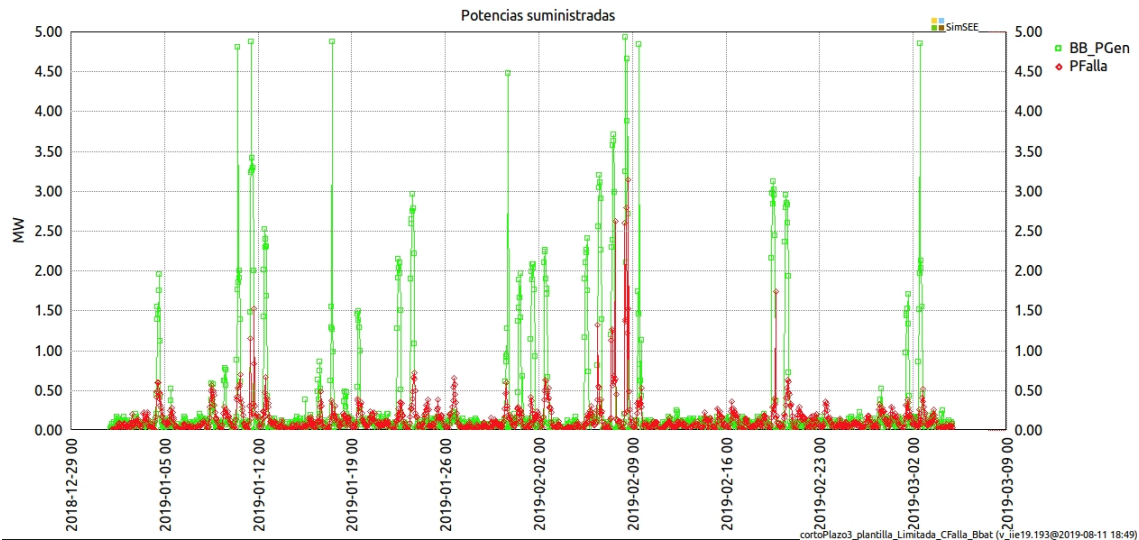
Si se observa la potencia de falla asociada a la demanda estudiada puede verse que aún persiste, y que en los peores casos puede exceder los 10MW a pesar de contar con el respaldo de baterías.



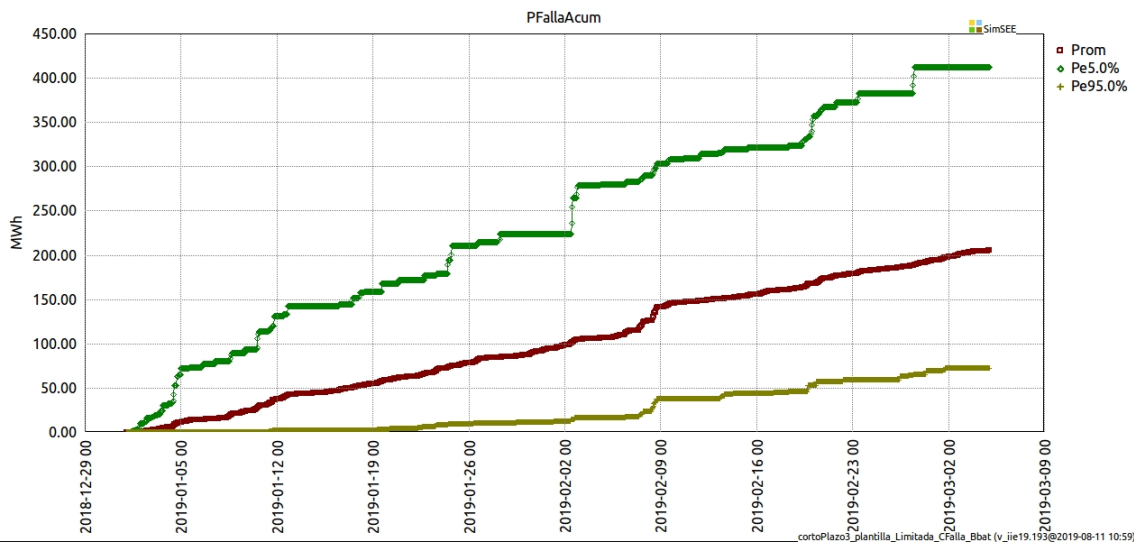
Los instantes en donde la falla muestra sus puntos más altos corresponden al percentil 5 y no ocurren en el caso promedio, por lo que se hallan asociados al único evento no determinístico que es la falla de la línea. En estos casos, se alcanzan los niveles de falla más profundos.



Si se analiza la dinámica de la carga de la batería resulta claro que la capacidad de la misma es una limitante en varios casos donde la energía almacenada desciende hasta los 0MWh. También parecería indicar que con mismas potencias máximas de carga y descarga se podría estar almacenando más energía si el banco de baterías lo admitiera, siendo que en promedio la carga de la batería se encuentra en niveles próximos al 100% la mayoría del tiempo.

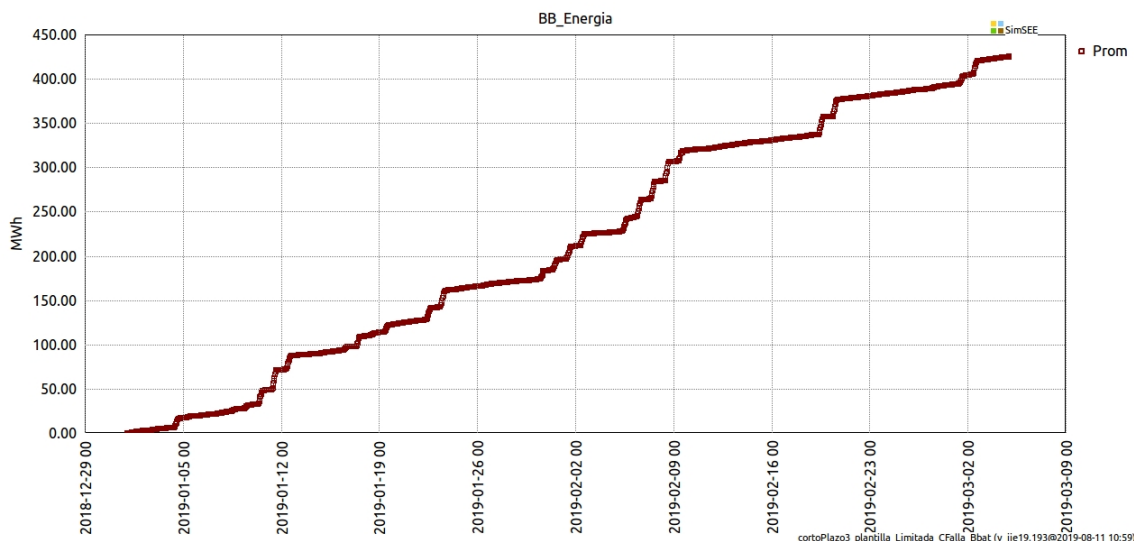


Cuando se observa falla y no suministro de batería esto podría indicar insuficiencia de energía almacenada mientras que cuando existe falla y además también alimentación desde el respaldo de energía, esto podría indicar que la potencia máxima que puede entregar no es suficiente. Si bien intuitivo, la política de operación podría preferir dar falla antes de afectar la carga de la batería si esto implicara un mejor costo en valor esperado. Esto se analiza más adelante.



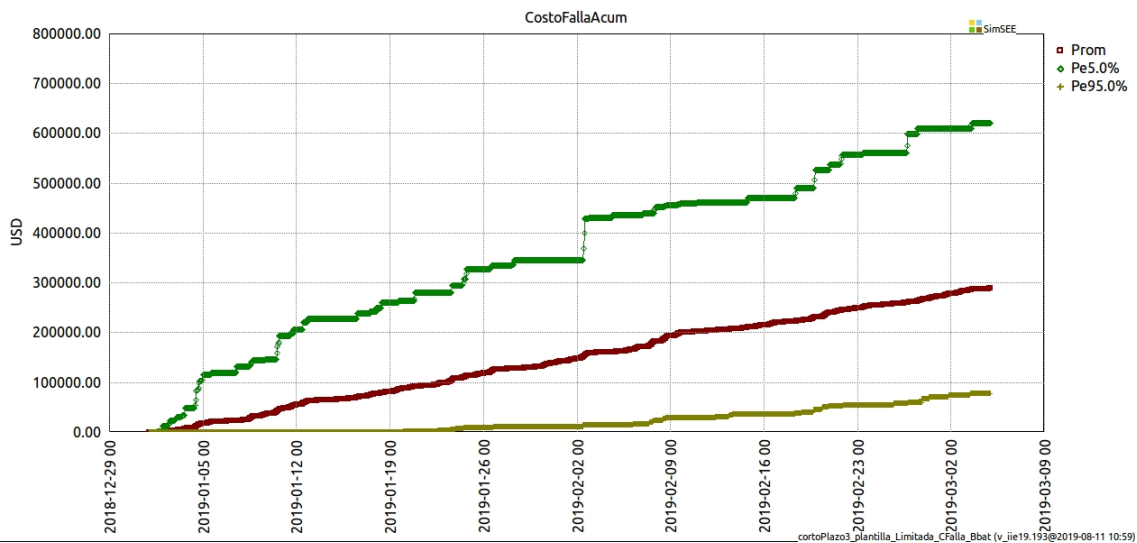
*Evolución de la energía de falla acumulada promedio y percentiles 5 y 95*

La energía no suministrada que se puede esperar en promedio será de unos 200MWh, lo que representa una reducción en dos tercios de la situación inicial en la que no se contaba con el respaldo de energía. Si se analiza la energía suministrada por el banco de baterías, resulta claro que la diferencia en la energía no suministrada tiene ese origen.



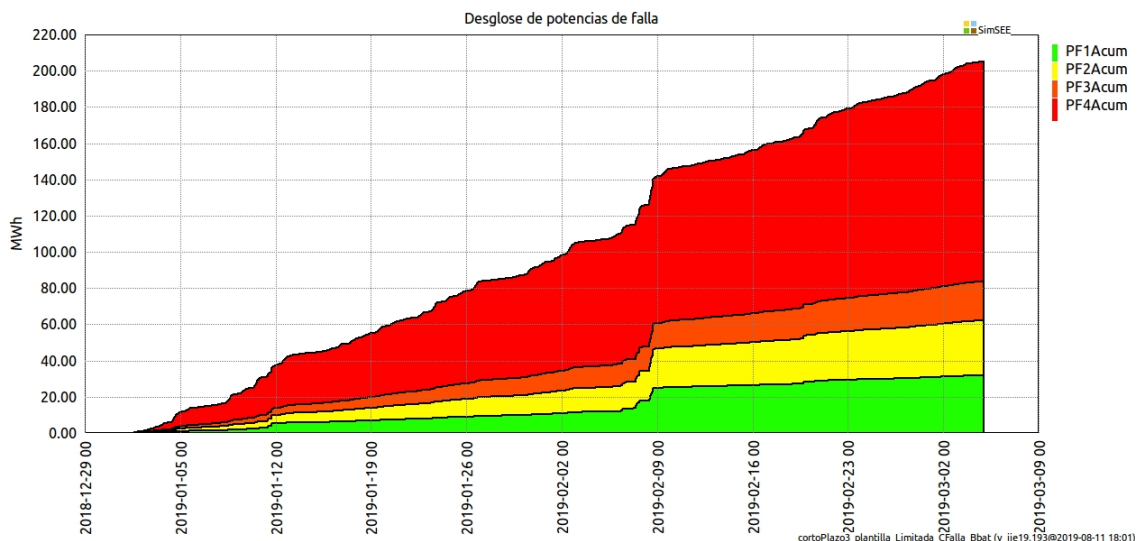
*Energía acumulada suministrada por el banco de baterías*

Esta reducción en la energía no suministrada es acompañada por un menor costo en los costos acumulados por no abastecimiento eléctrico, que representa un 50% menos aproximadamente que la situación sin el banco de baterías.



Costos de falla acumulados para el caso de Banco de Baterías 1

Se reducen los costos esperados y también lo hacen en las situaciones de peores desempeño. Puede observarse que los costos disminuyen en menor proporción a la energía no suministrada. Esto se explica por un menor desempeño del banco de baterías en fallas de mayor profundidad al no poder cumplir con la potencia y/o energía demandada.

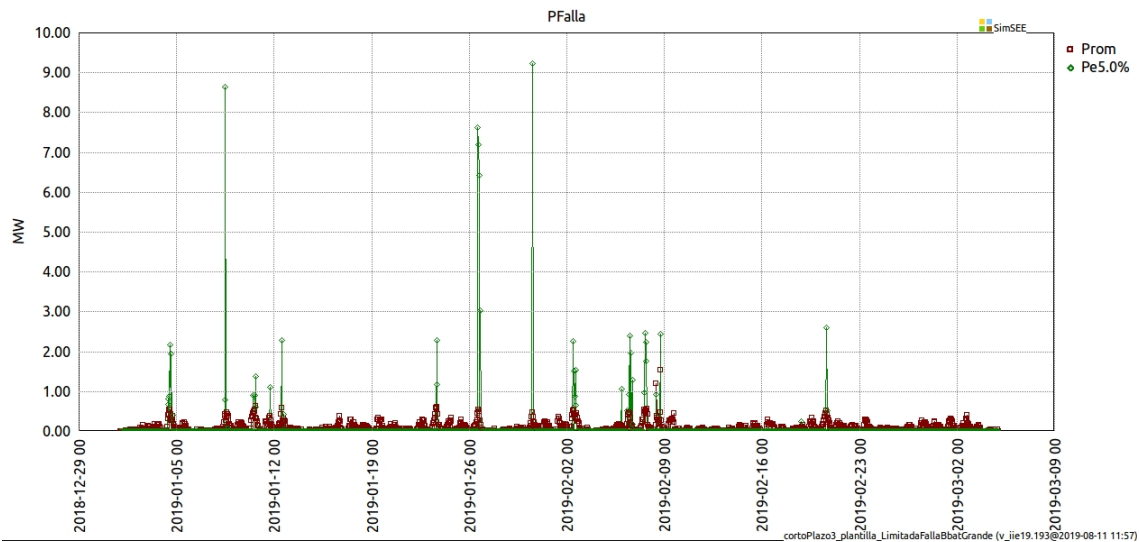


Desglose en niveles de profundidad de la demanda de energía no satisfecha

Al estudiar el perfil de la falla se puede observar una mayor proporción de falla de nivel 4 que la que se podía apreciar en el caso sin banco de baterías. Esto se explica porque, si bien la energía no suministrada en cada nivel de falla se ha visto reducida respecto del caso sin batería, ha sido más efectivo en los primeros tres niveles siendo que cuando existen interrupciones en la línea, la falla 4 se produce independientemente de cómo se opere el banco de baterías.

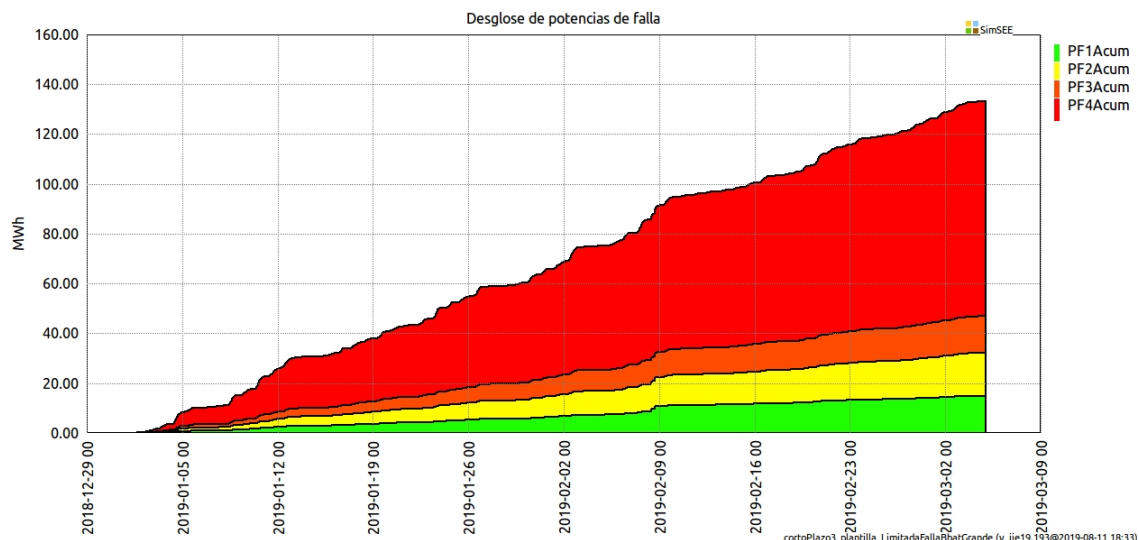
### Caso con Banco de Baterías 2

Se incorpora el actor Banco de Baterías configurado con una capacidad de 30MWh y 7.5MW de potencia simétrica de carga y descarga para ofrecer hasta 4 horas al máximo rendimiento.



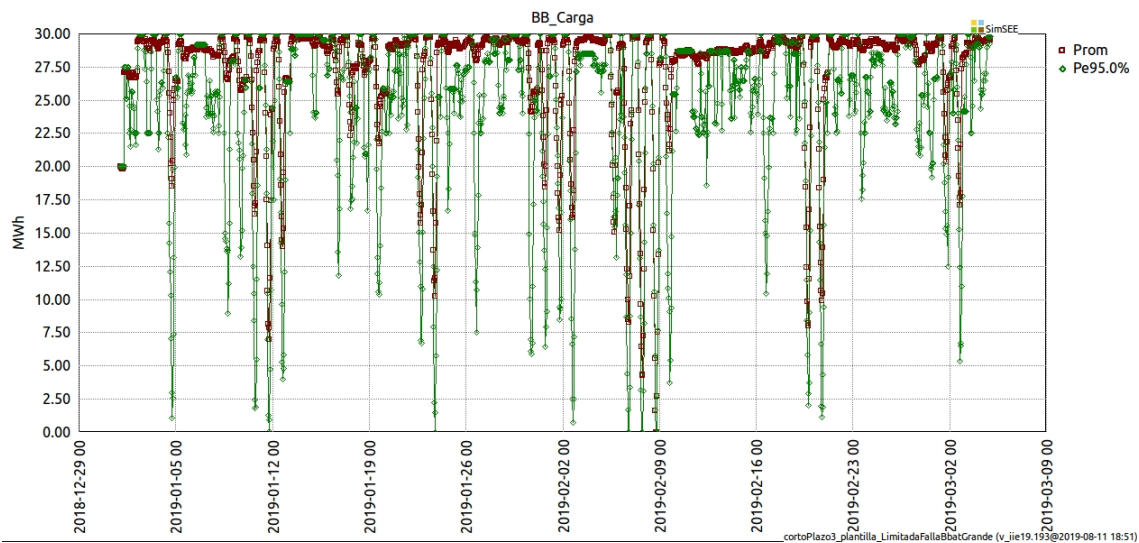
Evolución hora a hora de la demanda no satisfecha

A partir del gráfico anterior es posible ver que las fallas persisten, y que en los peores casos las mayores profundidades de falla rondan los 7MW a 10MW en promedio.



Niveles de falla

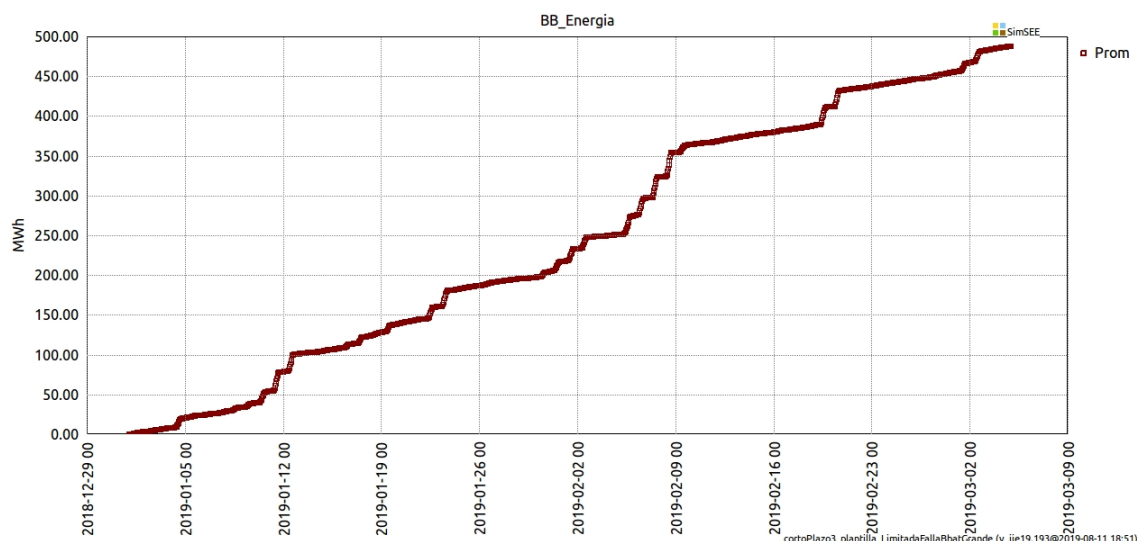
Al analizar el perfil de la falla se puede verificar una disminución importante en todos los niveles, aunque no pudiendo evitar la mayoría de los escenarios con nivel de falla 4.



Niveles de carga de la batería en promedio general y del 5% con peor desempeño

Al estudiar la dinámica de la batería es posible ver que en promedio la misma no se descarga completamente, y de hecho en los peores casos mantiene niveles adecuados de carga, estando próximo a la carga completa en muchos momentos. Esto parecería indicar que la capacidad de este banco de baterías es adecuada y que simplemente se requiere de mayores potencias de descarga para satisfacer la demanda.

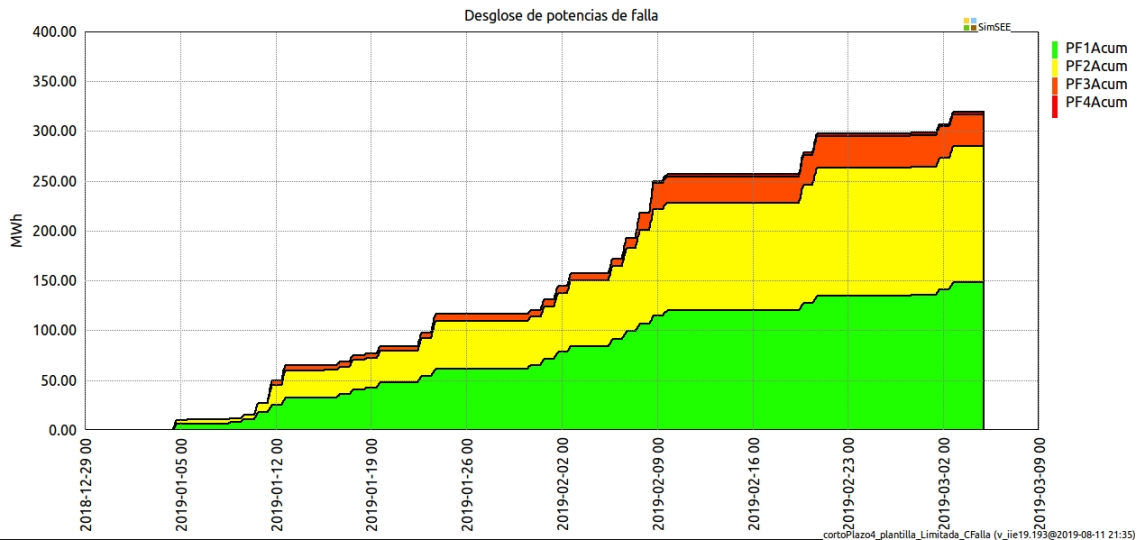
Como se mencionó, más adelante se verá como en realidad los niveles de carga elevados de la batería se hallan asociados al costo de operación que podría tener en valor esperado si se consideran escenarios de interrupción de la línea.



Energía suministrada por el banco de baterías 2

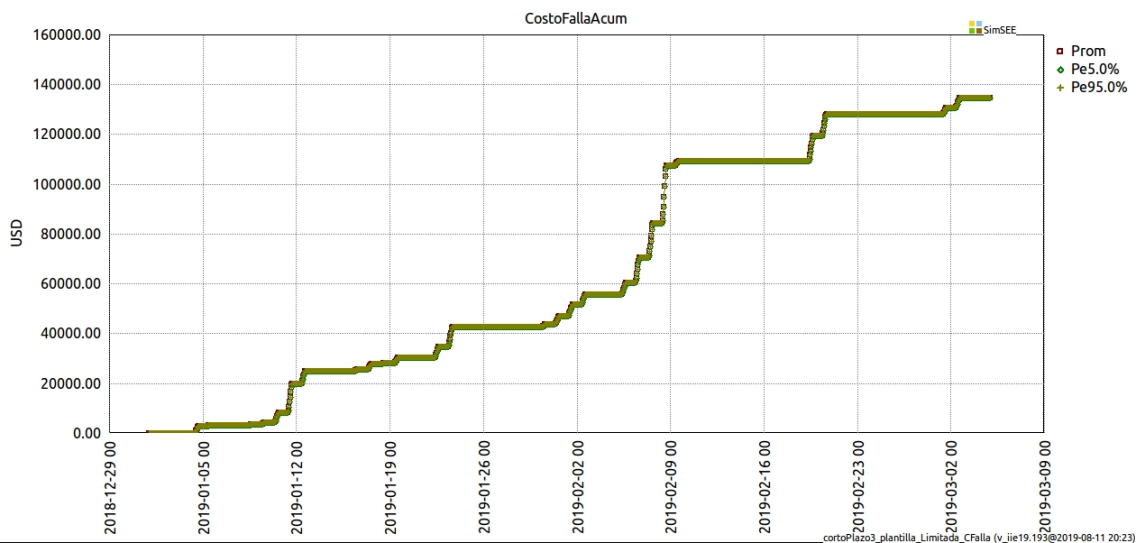
### Mantenimiento de la línea

Al realizar ciertos trabajos de mejora en la línea se puede llevar su disponibilidad de 0.98 (p.u.) a 1.0 (p.u.). Este cambio permite mejorar de manera muy notoria la energía no suministrada y en particular el perfil de la falla se traslada hacia los primeros tres niveles.



Perfil de la falla en niveles considerando la línea sin interrupciones

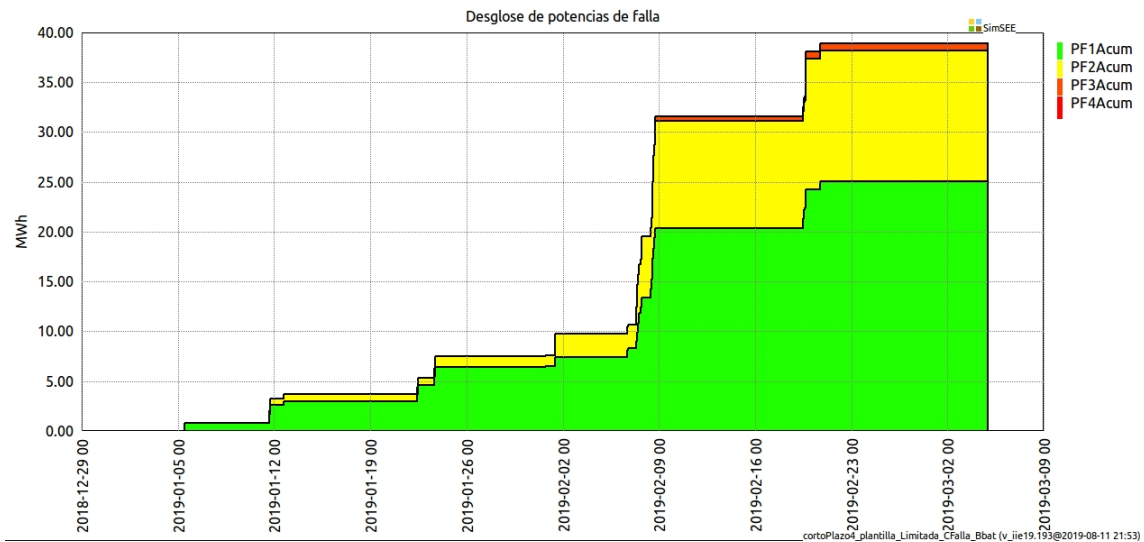
Esta mejoría se hace particularmente visible al analizar los costos de falla, que experimentan una caída impulsada por la reducción de la energía no suministrada en escalones de falla más profundos.



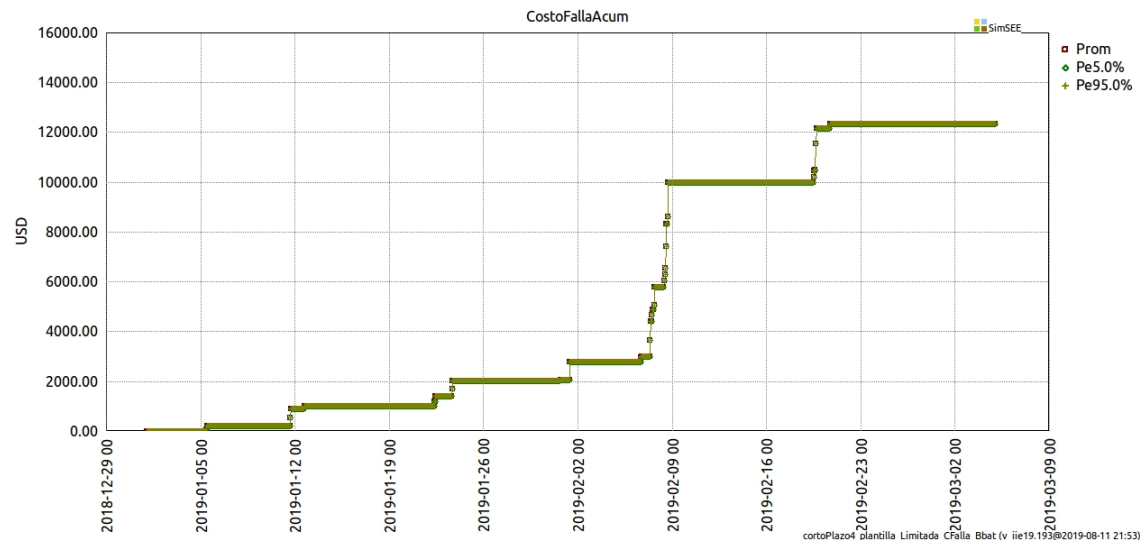


### Incorporación del banco de baterías 1

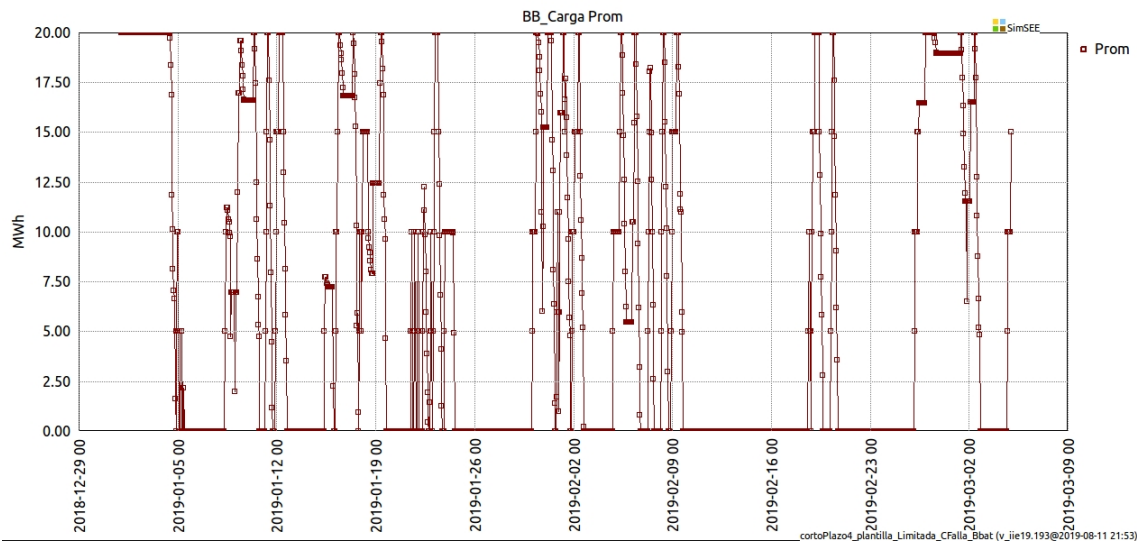
Al llevar a cabo las reparaciones en la línea e incorporar el banco de baterías 1, se obtiene una reducción superior al 80% en los niveles de falla, representando menos del 3% de la energía demandada y eliminando casi en su totalidad al tercer nivel de falla.



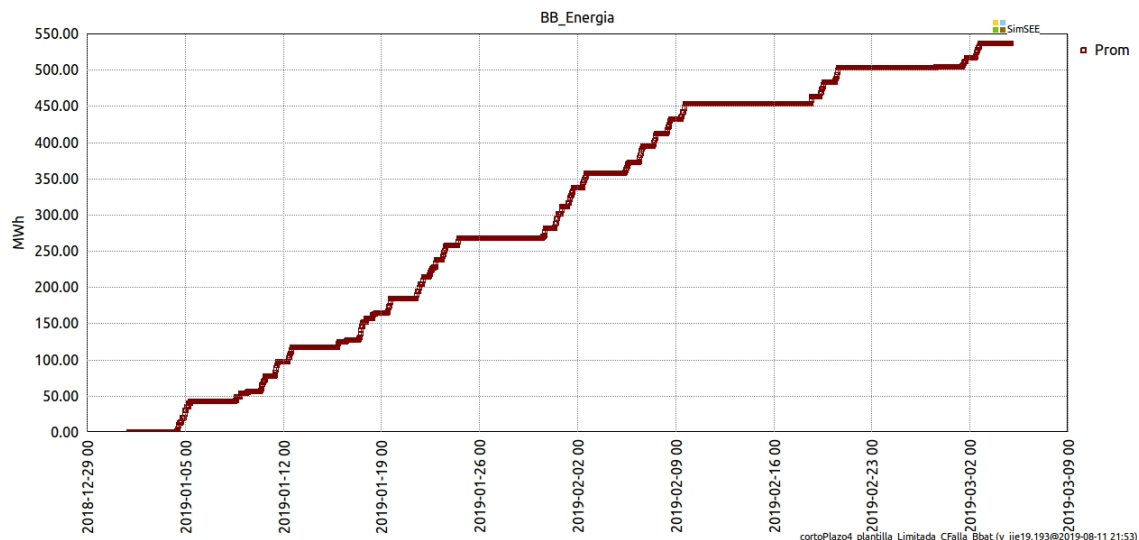
De igual manera se puede percibir una mejoría importante en los costos de falla.



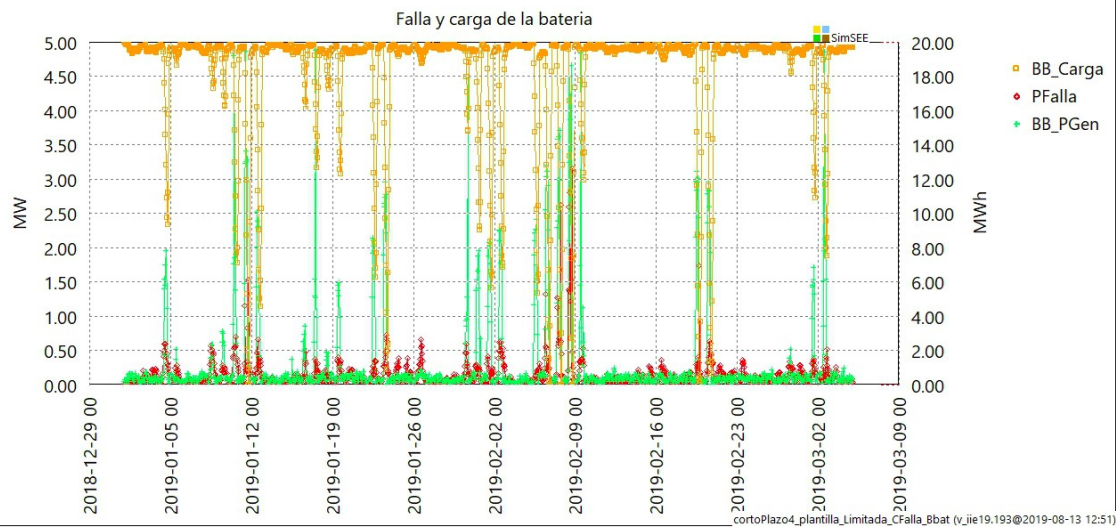
Si se analiza la dinámica de la carga de la batería puede observarse que la misma no es suficiente en muchos casos para alimentar la demanda cuando la línea se ve saturada.



Al analizar la energía que el banco de baterías suministra al nodo de la red en el que se encuentra, se puede observar que a pesar de contar con una red que falla menos, la energía que fue suministrada por el respaldo supera los casos analizados anteriormente.



Si se compara la dinámica de la carga de la batería puede observarse que la misma permanece más tiempo descargada cuando la línea es confiable que cuando existe una cierta probabilidad de interrupción del servicio.



*Carga de la batería, potencia de descarga de la batería y potencia de falla para una crónica*

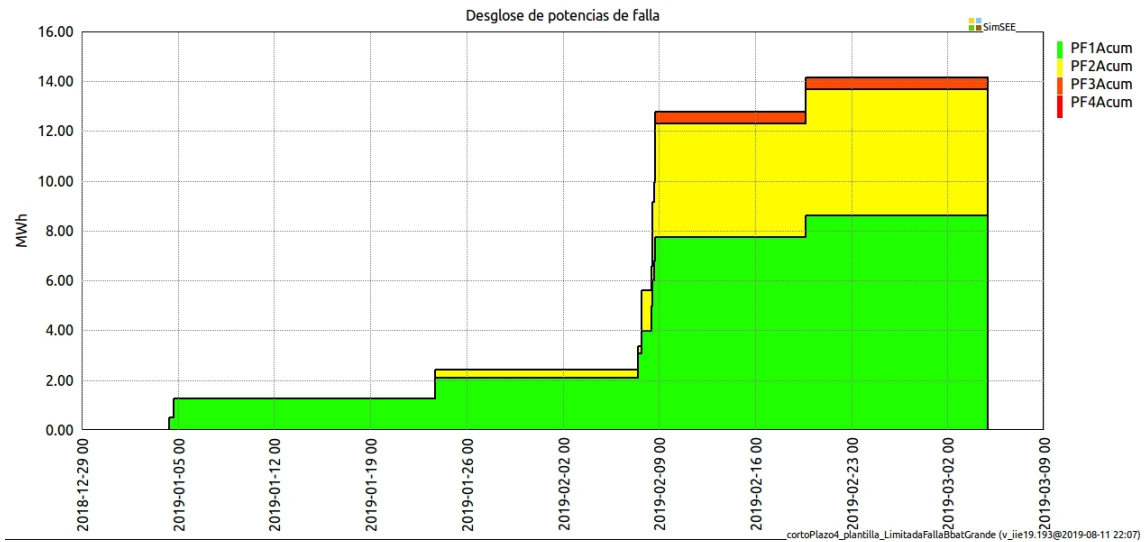
Si se analiza el gráfico que compara la energía almacenada y la potencia de falla para una única crónica es posible observar que existen momentos donde ocurre falla que podría evitarse por disponer de la energía y porque la magnitud de la falla puede contenerse por la potencia máxima del banco de baterías.

También puede observarse que, en particular, existen momentos donde la batería es cargada, a pesar de existir simultáneamente falla. Esto ocurre el día 8 de febrero a las 11hs, donde la potencia promedio de falla es de 1MW, la potencia promedio de carga de la batería de 2MW y la carga almacenada en ese momento de 19.89MWh.

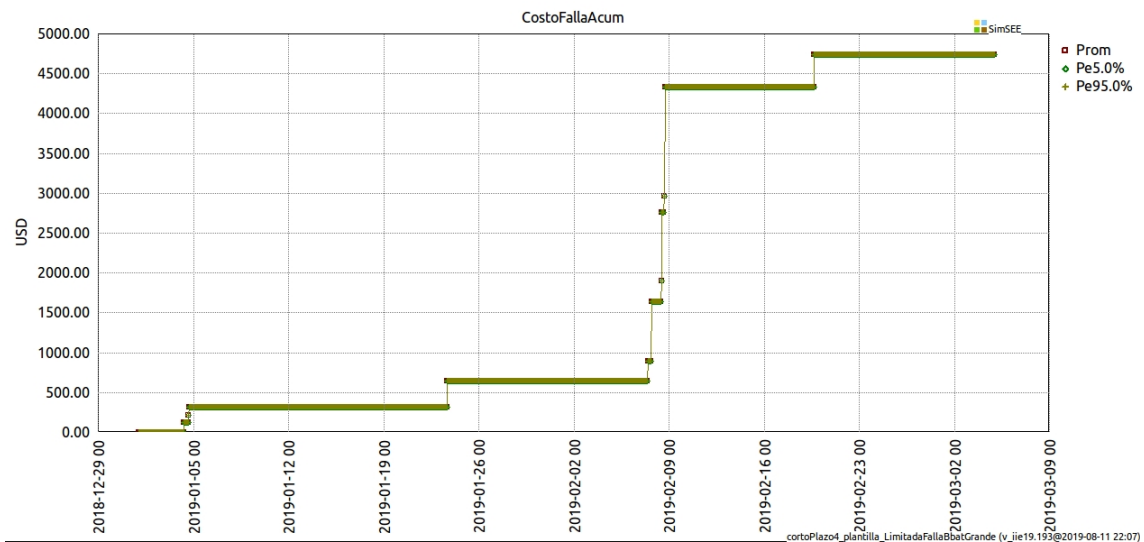
La explicación de esto es que la política de operación considera el hecho de que en la demanda de las próximas horas se necesitarán más de 140MWh antes de que el consumo vuelva a ubicarse por debajo del máximo de la línea de 16MW, intentando minimizar la ocurrencia de niveles de falla más profunda, siendo éstos los más costosos para el sistema.

## Incorporación del banco de baterías 2

Al incorporar el banco de baterías 2 a la línea mejorada, se obtiene una reducción de la falla de más del 50%, permitiendo satisfacer más del 99% de la energía demandada.



Las fallas son casi en su totalidad de los dos primeros niveles, y el costo asociado es de 1% del esperado en la situación inicial.



## **Posibles futuros trabajos**

Este estudio debería realizarse con una ventana de tiempo que incluya las diferentes estacionalidades (mínimo un año).

Adicionalmente sería de interés analizar la utilización del banco de baterías para optimizar los costos de suministro teniendo en cuenta los costos marginales del sistema (CMG), aprovechando los instantes en donde la energía es más económica.