

**MODELADO Y ESTUDIO DE UNA DEMANDA INDUSTRIAL Y
EVALUACIÓN DE LA POSIBILIDAD DE INCORPORACIÓN DE
AUTOGENERACIÓN CON ENERGÍAS RENOVABLES NO
CONVENCIONALES.**

*Bella Amézquita
Betiana Bouzas
Magdalena Márquez*

Profesor: RubenChaer

*Instituto de Ingeniería Eléctrica – FING.
Julio 2015
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 trabajo es analizar la demanda eléctrica de una industria frigorífica en base a su demanda histórica y proyectada en primera instancia, hasta el 2016 y en un segundo escenario hasta el 2018 inclusive.

El trabajo supone un modelado estocástico de dicha demanda y el posterior análisis de los efectos sobre el consumo neto del frigorífico, al incorporar una fuente de generación en base a energía eólica.

2. Hipótesis de trabajo.

i- Proyección de la demanda Uruguay:

Se toma como base la demanda horaria del año 2013 y se utiliza el modelo “Demanda generada a partir de un año base y vector de energías anuales”, con un vector de consumo de energía anual con una tasa de crecimiento de 3,5% acumulativo anual.

ii- Demanda del Frigorífico:

Se toma como base la demanda horaria suministrada por UTE para el año 2014. Se asume que la misma permanecerá invariada durante el período de simulación y de optimización, aunque esto no es estrictamente cierto por la propia dinámica de la industria.

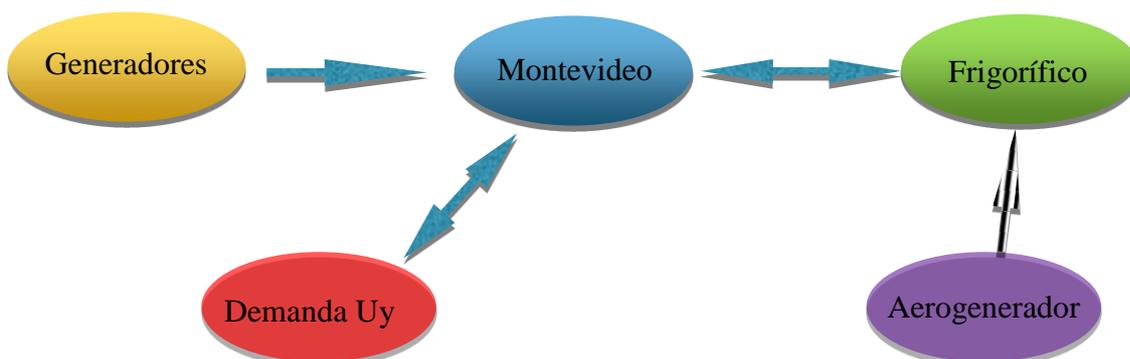
iii- Sala utilizada:

Se modela el Sistema Eléctrico del frigorífico (Esquema 1) interconectándolo con el nodo “Montevideo” a través de dos arcos: Mdeo→Frigo y Frigo→Mdeo para evaluar la potencia en ambos sentidos.

La sala base que se usó es la “**psem2015_17.es**” sugerida por el docente que permite las incorporaciones de potencia planificadas con otros tipos de generación, como la generación eólica. No se toman en cuenta en esta sala los intercambios internacionales. El precio de los combustibles así como el costo de fallas son los supuestos en la propia sala base.

Se tiene que todos los generadores y la demanda se consideran conectados al nodo Montevideo. Con los cambios se trabaja con la sala “**frigo trabajo 3006.es**”, en la cual la duración del paso del tiempo es de 1 hora con un solo poste monótono de 1 hora.

Esquema 1



3. Metodología.

i. Análisis serial

Se analizó la serie temporal de datos que representa la demanda horaria del frigorífico del año 2014 resultando que no presenta ninguna tendencia regular. En la figura 1 y sólo a modo de ejemplo, se muestra la demanda semanal:

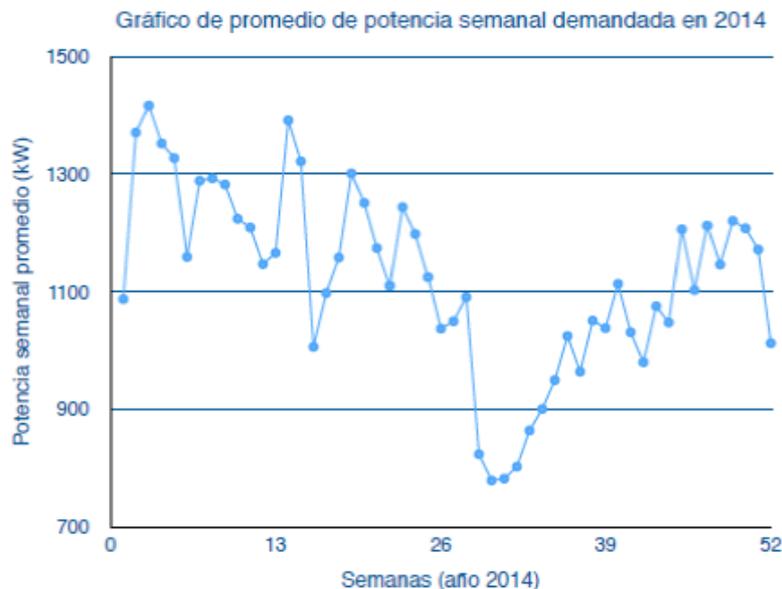


Figura 1: Potencia semanal demanda año 2014

Por otro lado, se analizaron por separado los días no hábiles SERIE 1 (domingos y feriados no laborables) y los días hábiles SERIE 2 no encontrándose tampoco ninguna tendencia particular.

Todo esto nos llevó a pensar en modelar el sistema con estas dos series de acuerdo a si la actividad de la planta era normal o no.

De esta manera y para tener series con la misma cantidad de datos se procedió como se detalla:

- SERIE 1: para rellenar los “huecos” que dejan los días hábiles; los mismos se completan con el valor del domingo o feriado siguiente.
- SERIE 2: del mismo modo, al día domingo o feriado que queda como “hueco” en esta serie se le asigna el primer día hábil siguiente.

Este procedimiento se escogió arbitrariamente para tener grupos con la misma cantidad de datos.

Así se obtuvo dos series de 8760 datos cada una las cuales fueron modeladas con el sintetizador CEGH, dándoles para ello el formato requerido por la aplicación. Sólo a modo de recordatorio las mismas se encuentran en formato *txt* y se cargaron las siguientes variables: $N=1$, 8760 puntos, tiempo entre muestras 1 h y 8760 ciclos (ciclos horarios).

ii. Modelo CEGH

Antes de realizar el modelo CEGH se introdujeron los siguientes parámetros, requeridos para la creación del mismo:

- Orden de filtro: 1
- Overlapping: 1
- Traslapping: 30
- NpuntosPorMiniCiclo: 24
- Horas entre muestras: 1

Así, se obtienen dos archivos de resultados con nombre y formato: SintetizadorCEGHSerietipo1.txt y SintetizadorCEGHSerietipo2.txt.

Algunos datos obtenidos que resultan de interés en estos archivos se muestran en las figuras que siguen teniendo en cuenta que la descripción de las funciones deformantes obtenidas es análoga para ambas series por lo que se muestra la Serie1 a modo de ejemplo:

VERSION_FORMATO_CEGH:	2
<<FUNCIONES DEFORMANTES>>	
NSS	1
NPP	8760
NPPD	200
DurPasoSorteo	1

Figura 2: Comienzo de la descripción de las funciones deformantes

serie1	Potencia						
	0%	0,50%	1,01%	1,51%	2,01%	2,51%	...
paso:	1	123	123	123	123	153,475	...
paso:	2	1018	1018	1018	1018	1018	...
paso:	3	1020	1020	1020	1020	1020	...
paso:	4	990	990	990	1005,84	1014	...
paso:	5	999	999	999	999	999	...

Figura 3: Inicio de descripción de las funciones deformantes

Posteriormente sigue la descripción del filtro lineal obtenido y la reducción de variables de estado. Asimismo se muestran los coeficientes que determinan las matrices A y B que caracterizan cada uno de los filtros lineales de las distintas series.

Si se recuerda, la matriz A esta descrita por los coeficientes S1-1 y la matriz B por los textos U1.

De esta manera se tienen las figuras 4 y 5 respectivamente:

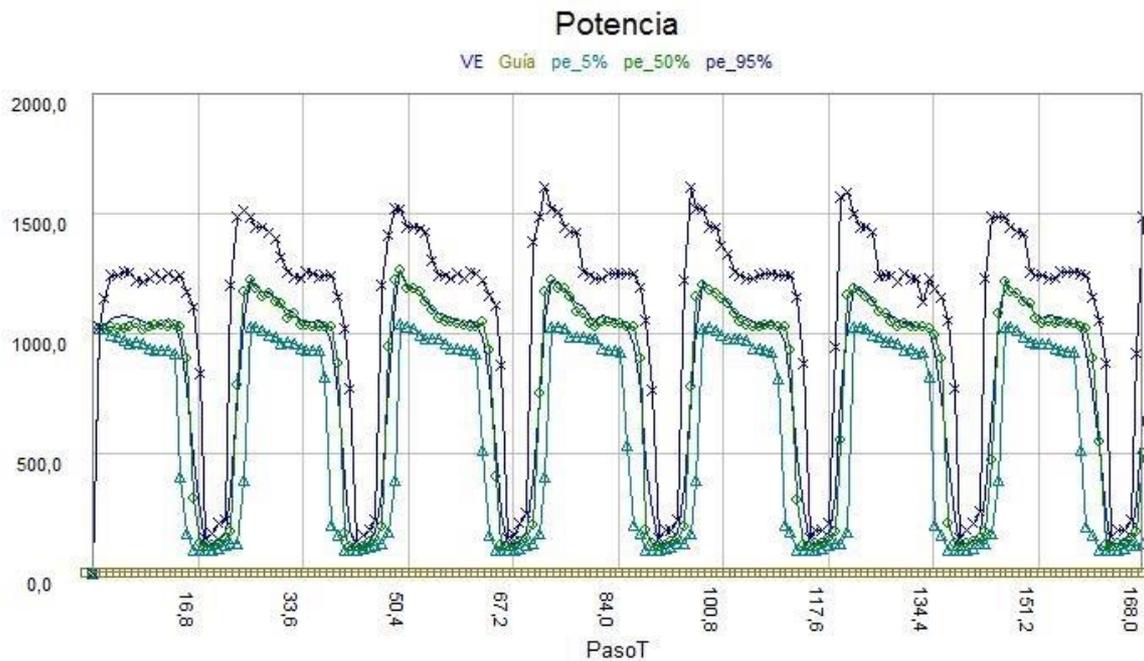
<<FILTRO LINEAL>>			
NFBG	1		
NBS	1		
NOCLSA	1		
Filtro A			
		S1-1	u1
serie:	1	6,98E-01	7,16E-01
nVE	0		

Figura 4: Descripción del filtro lineal SERIE1

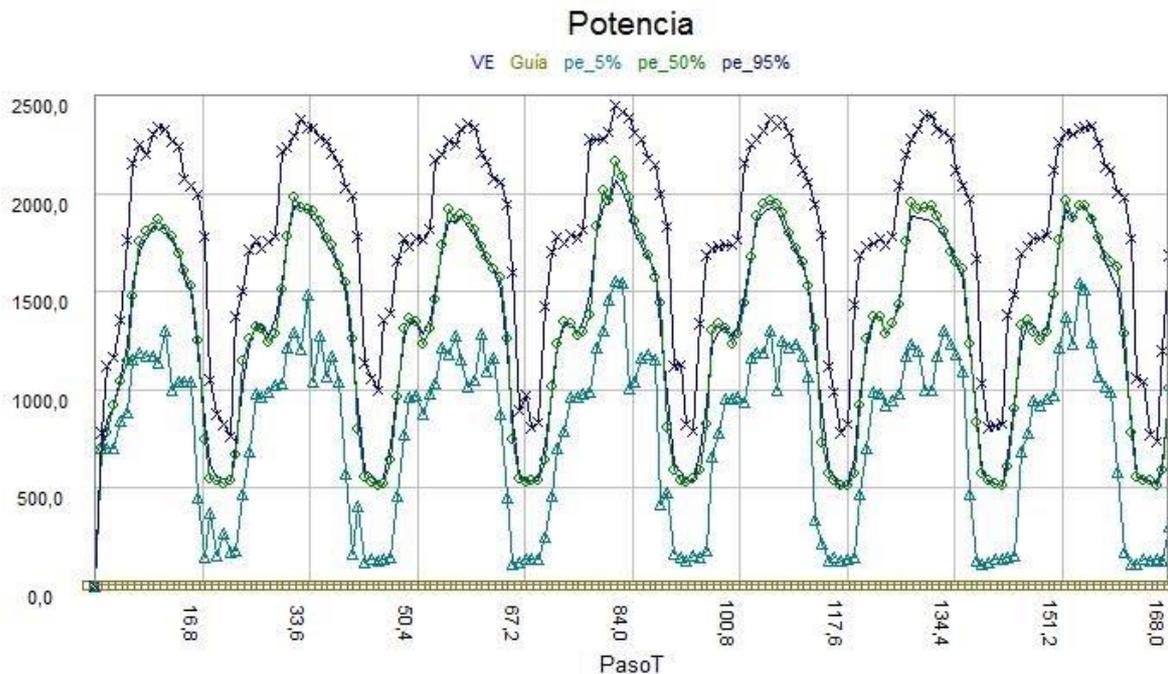
<<FILTRO LINEAL>>			
NFBG	1		
NBS	1		
NOCLSA	1		
Filtro A			
		S1-1	u1
serie:	1	7,44E-01	6,69E-01
nVE	0		

Figura 5: Descripción del filtro lineal SERIE2

Al editar cada una de las fuentes a las que se asigna dicha demanda se obtienen las siguientes gráficas por semana es decir calibrando con 168 pasos:



Gráfica 1: Fuente con Sintetizador CEGH Serie1



Gráfica 2: Fuente con Sintetizador CEGH Serie2

En las gráficas obtenidas se observan valores de demanda con sus distintas probabilidades de excedencia. En particular se ven: el VE (valor esperado que corresponde al promedio de todas las potencias para cada paso), los cortes de probabilidad de un 50% (mediatriz), y los correspondientes al 95% y 5% respectivamente. Es decir que entre estas últimas curvas se encuentran el 90% de los valores. Para el período que se muestra (168 pasos), los modelos representan la estructura del proceso aleatorio.

iii. Actores y fuentes

Se crean como nuevos actores las demandas que caracterizan al frigorífico según el día de operación (Demanda Frigo 1 y Demanda Frigo 2), con demandas planas de 1 kW que se multiplican por las fuentes Dem1 y Dem2 respectivamente como componentes aleatorias, sumando ruido a las mismas.

Como la demanda del frigorífico tiene dos comportamientos de acuerdo al tipo de día (día hábil o feriado), se crea una fuente selector horario (**TFuenteSelector_horario**) que tiene como función tomar los valores de dos fuentes (Dem1 y Dem2) de acuerdo al día de operación del frigorífico. Para la Dem1 (días domingos y feriados) y para la Dem2 (días hábiles), la fuente agrega ruido al actor **Demanda Frigo**, cuando se multiplica por una demanda plana de 1 kW. De esta manera, el actor Demanda Frigo modela el comportamiento de la demanda total del frigorífico.

Cabe aclarar que esta fuente no permite seleccionar los feriados reales ya que no dispone de un calendario. Simplemente nos permitió discriminar entre domingos y jornadas laborables (los sábados son jornadas ordinarias para esta industria).

Por último se agrega el actor **Eólica** y una fuente asociada **pEOL** modelada a partir del CEGH existente en la sala original utilizada. Se considera que se instala un solo aerogenerador el 01/01/2017 y que opera hasta el final de la ventana de tiempo considerada.

iv. Corridas

De acuerdo a los distintos escenarios planteados se realizan las siguientes corridas:

- Escenario 1:

Período de optimización: 01/01/2015 al 01/03/2016 (pasos: 10200)

Período de simulación: 01/01/2015 al 01/01/2016 (pasos: 8760)

- Escenario 2:

Período de optimización: 01/01/2015 al 31/12/2018 (pasos: 35040)

Período de simulación: 01/01/2015 al 30/06/2018 (pasos: 30624)

- Escenario 3:

Período de optimización: 01/01/2015 al 31/12/2018 (pasos: 35040)

Período de simulación: 01/01/2015 al 30/06/2018 (pasos: 30624)

En este último escenario se introduce el uso de un aerogenerador como fuente de ERNC. Se plantea la incorporación de un equipo de 1 MW (factor de capacidad 45%) para autoabastecimiento y se utiliza la fuente modelada en la sala base.

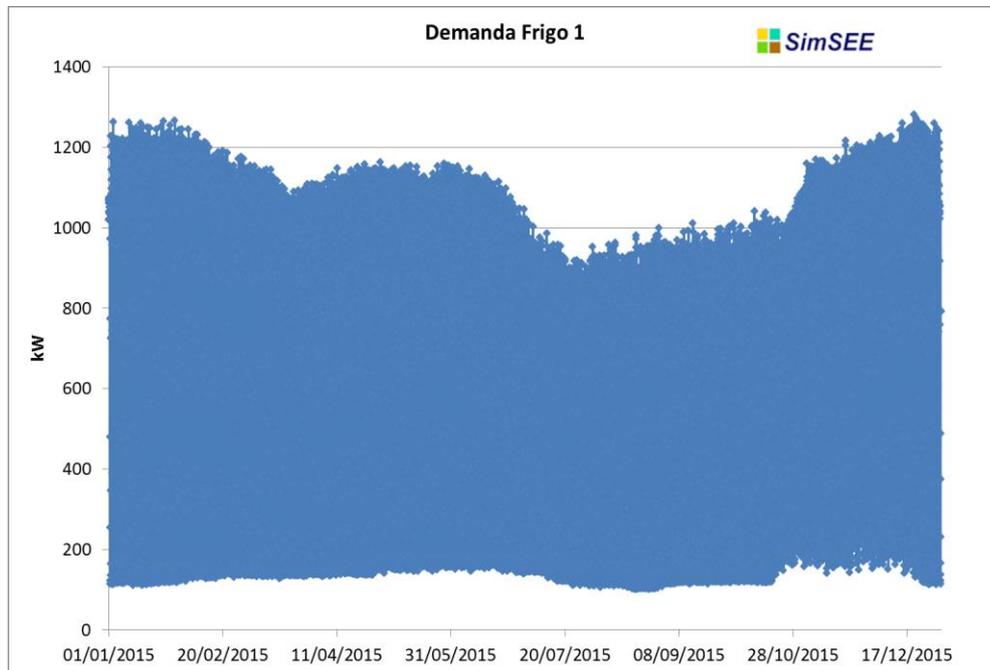
En los dos primeros escenarios se grafican las Demandas Frigo1 y Frigo 2, la comparación entre ambas y la Demanda del frigorífico. Se muestran también en el 1er escenario las potencias diarias medias, máximas y mínimas.

En el último caso se agrega además:

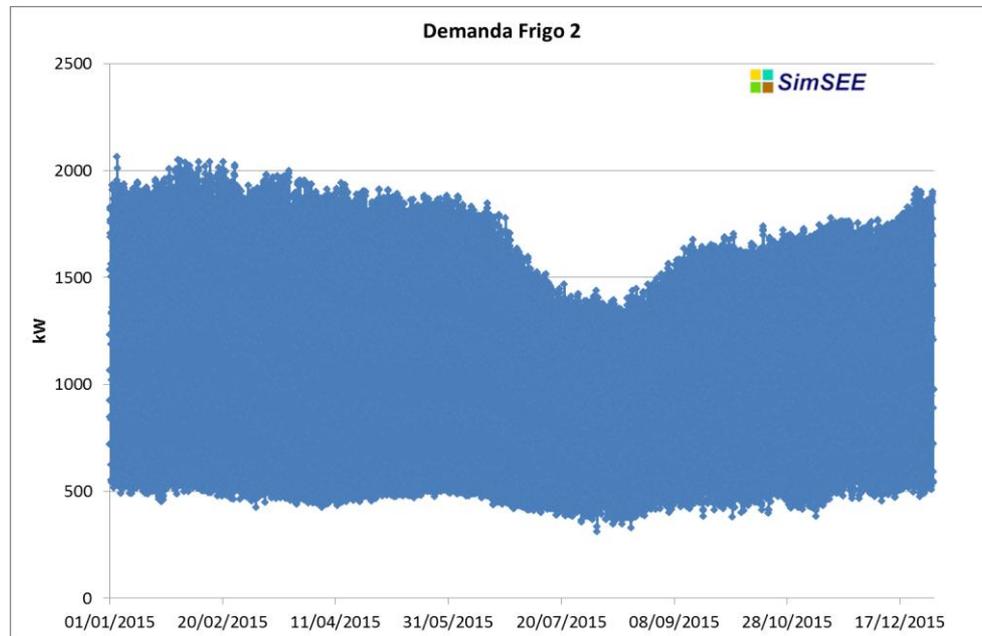
- ✓ La potencia promedio generada por el aerogenerador mencionado.
- ✓ La demanda del frigorífico según el tipo de día cuando se incorpora el aerogenerador.
- ✓ La diferencia entre la Demanda del Frigo y la Potencia eólica generada.
- ✓ La potencia “importada” (del arco Mdeo→Frigo).
- ✓ La potencia “exportada” (del arco Frigo →Mdeo).
- ✓ El costo marginal y el costo total del frigorífico debido a la compra de energía eléctrica.

4. Resultados del estudio.

Escenario 1:

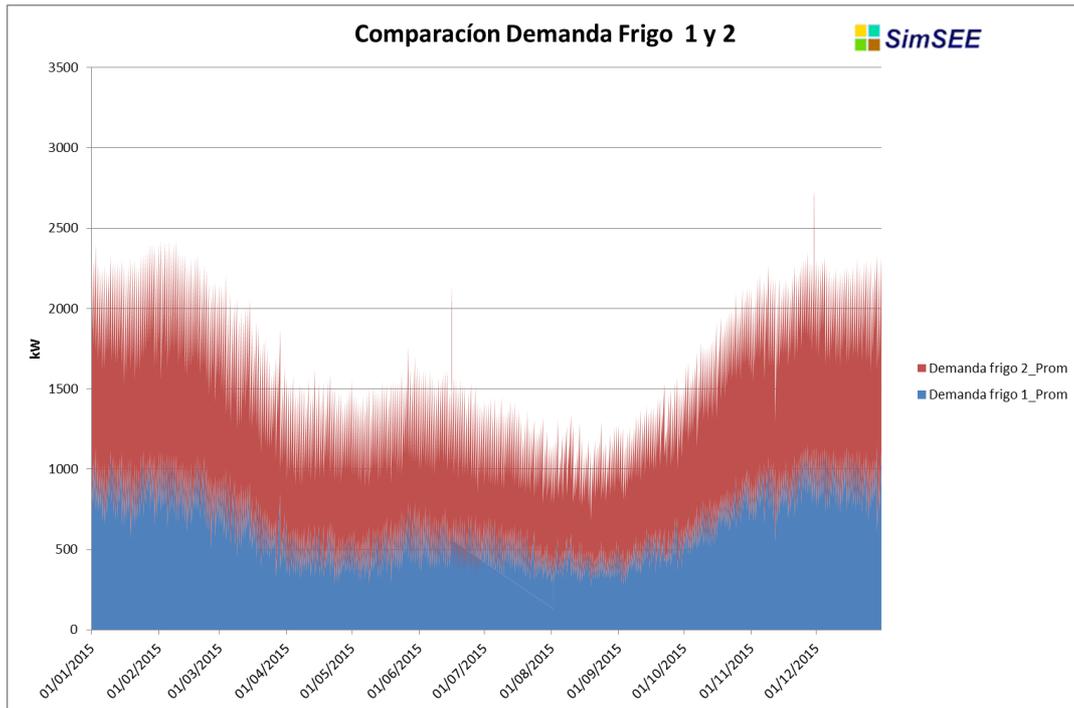


Gráfica 3: Demanda Frigo 1 Escenario 1



Gráfica 4: Demanda Frigo 2 Escenario 1

En las gráficas 3 y 4 se observa no sólo la diferencia en la potencia consumida debido al tipo de día; sino también una relación con las actividades que se realizan en las distintas épocas del año. Así durante los meses de baja actividad el consumo es menor y este descenso es más pronunciado los días hábiles de acuerdo a lo esperado.

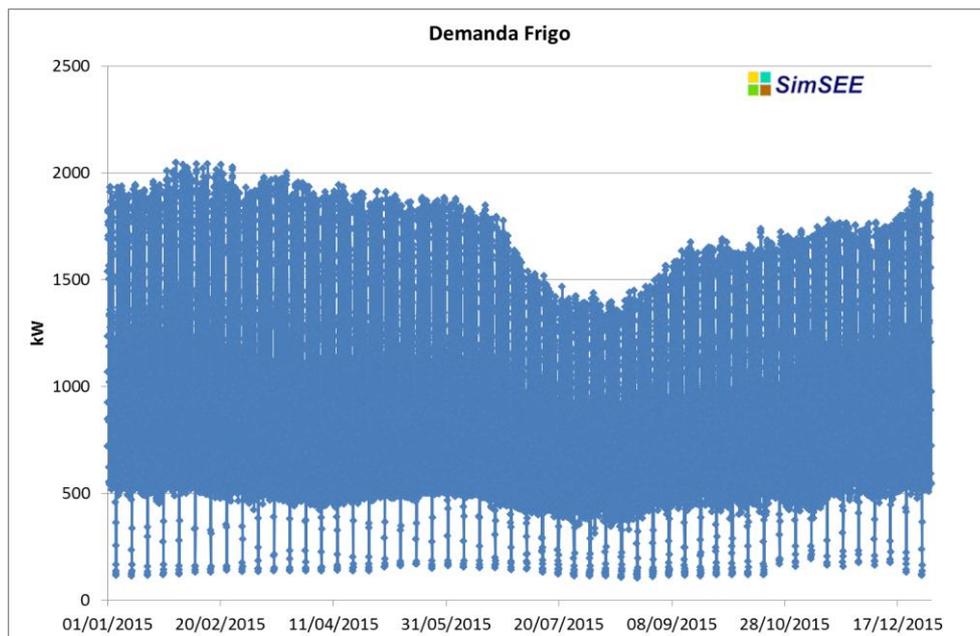


Gráfica 5: Comparación Demanda Frigo 1 y 2 Escenario 1

En el gráfico anterior se apilan las demandas para poder visualizar y comparar el comportamiento esperado de cada una de ellas.

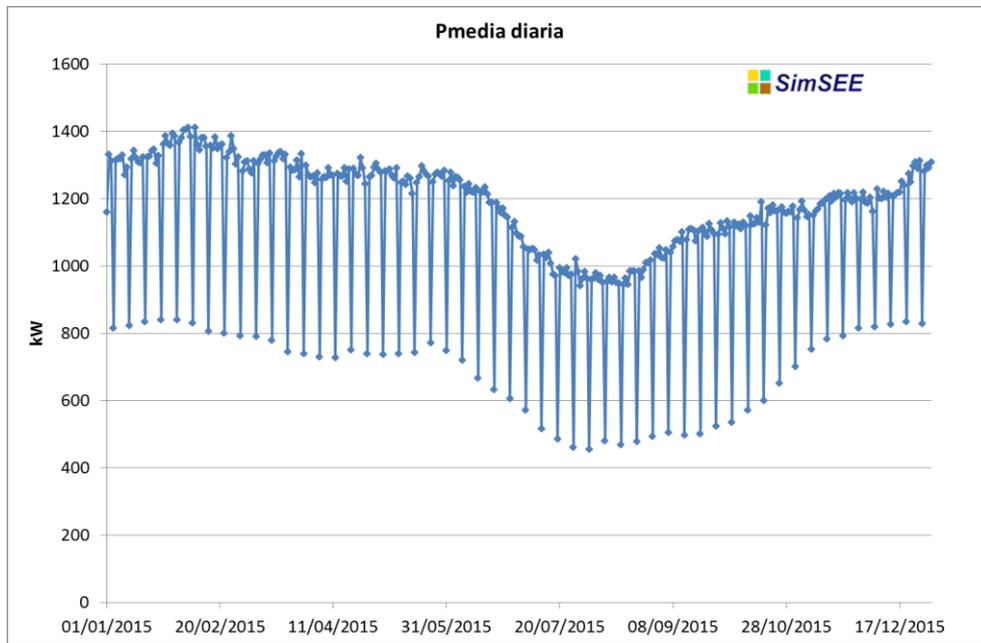
En el gráfico que sigue se verifica el funcionamiento de la fuente selector horario y se aprecian las distintas potencias.

La demanda de los días no hábiles se corresponde básicamente a equipos de refrigeración e iluminación.

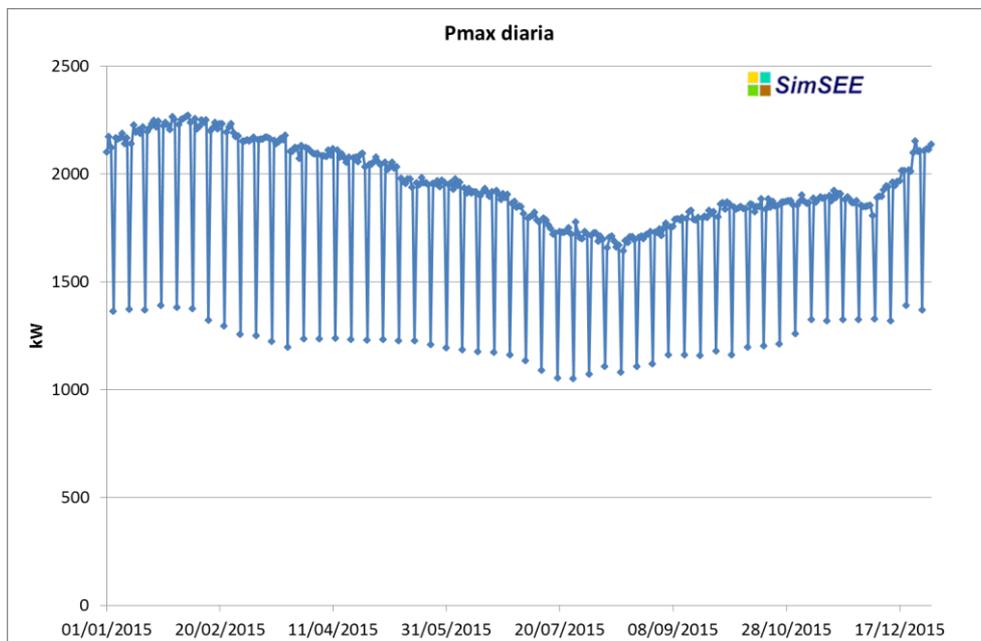


Gráfica 6: Demanda total del Frigorífico Escenario 1

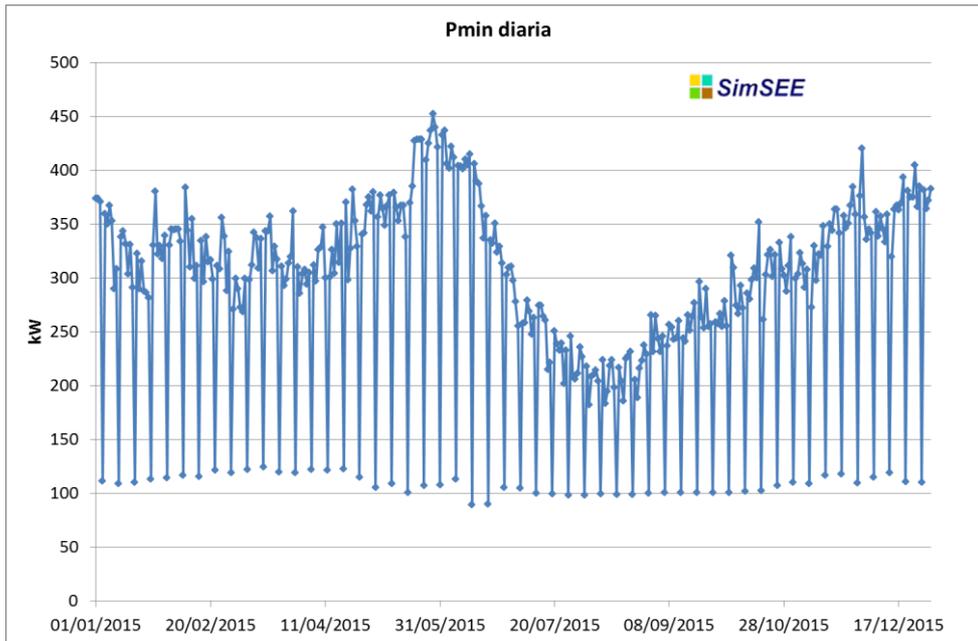
Para analizar las potencias media, máxima y mínima, se realiza una post operación con cambio de tiempo de manera de obtener datos diarios. Se obtienen así los siguientes gráficos:



Gráfica 7: Potencia media diaria Escenario 1



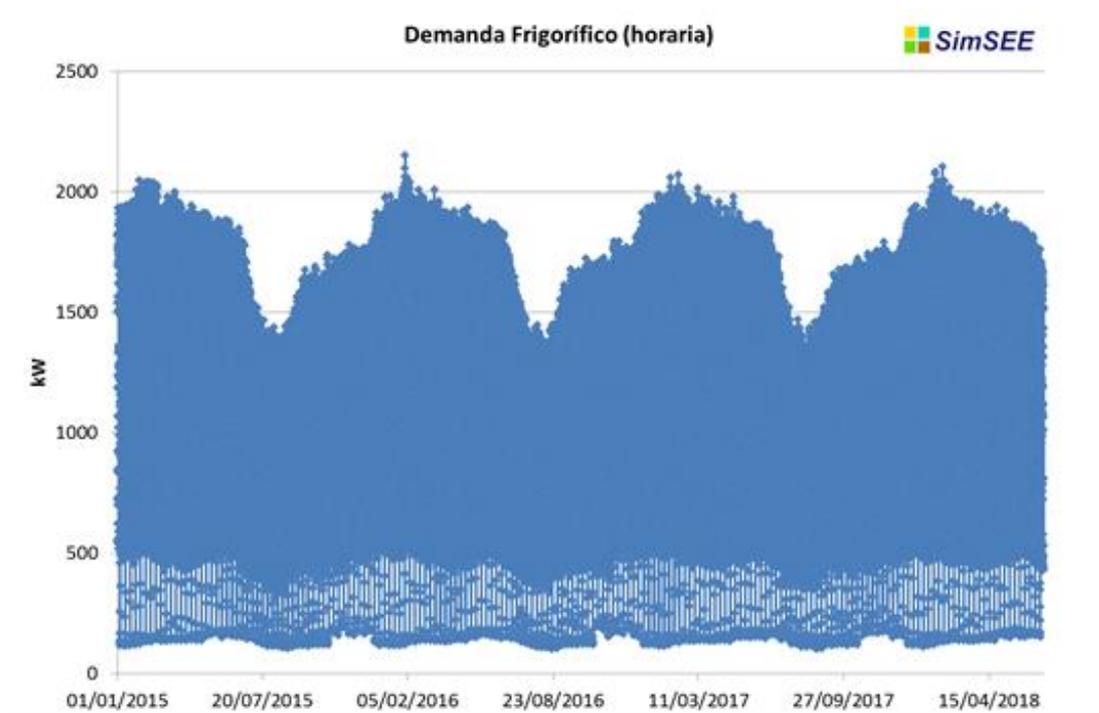
Gráfica 8: Potencia máxima diaria Escenario 1



Gráfica 9: Potencia mínima diaria Escenario 1

En todos los casos anteriores se ve claramente que los días domingo se corresponden con los menores valores de potencia. Así como también los valores más bajos se corresponden con los meses de menor actividad (invierno).

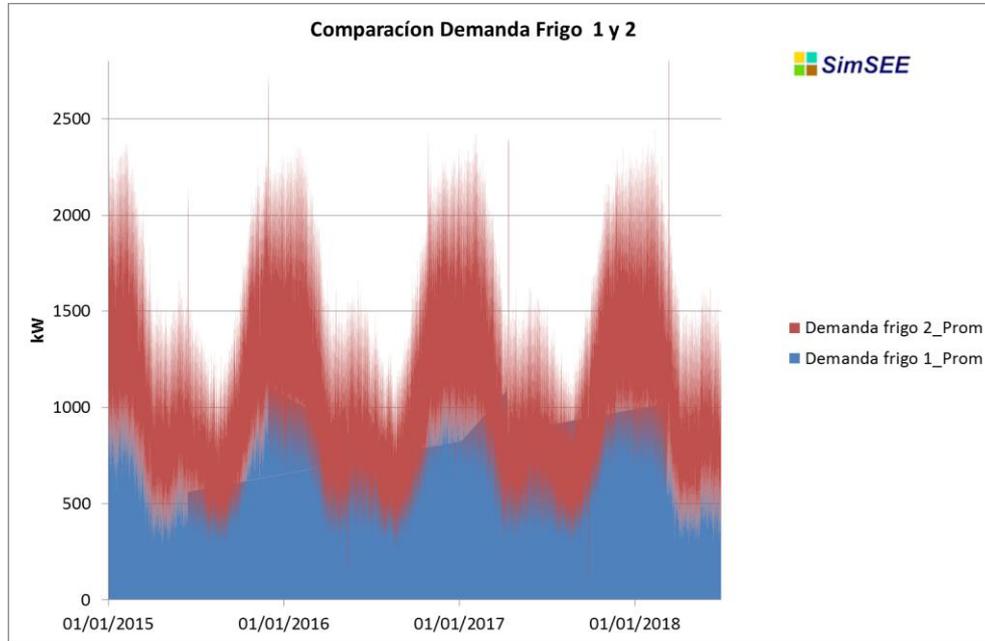
Escenario 2:



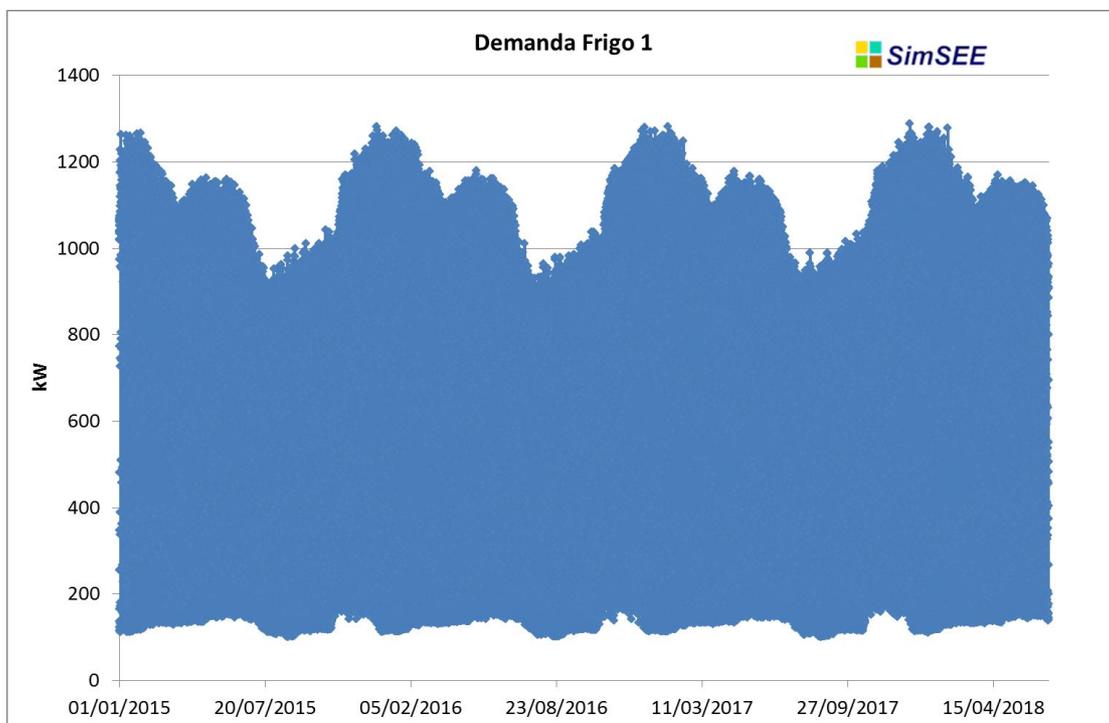
Gráfica 10: Demanda Frigo Escenario 2

Se observa en el gráfico anterior la estacionalidad de la demanda. Sin embargo es importante aclarar que esta tendencia está basada en los datos históricos de un año y en la realidad puede variar dependiendo de situaciones climáticas, precios, etc.

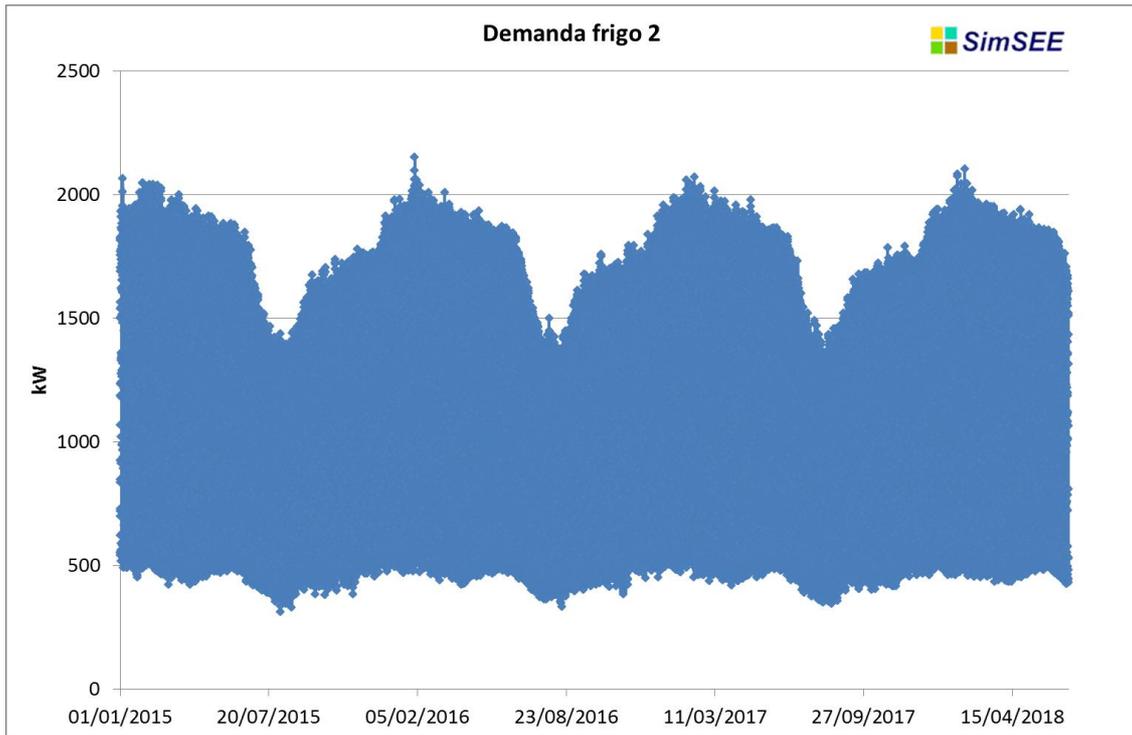
El mismo comportamiento se observa si analizamos y comparamos las demandas 1 y 2:



Gráfica 11: Comparación Demanda Frigo 1 y 2 Escenario 2



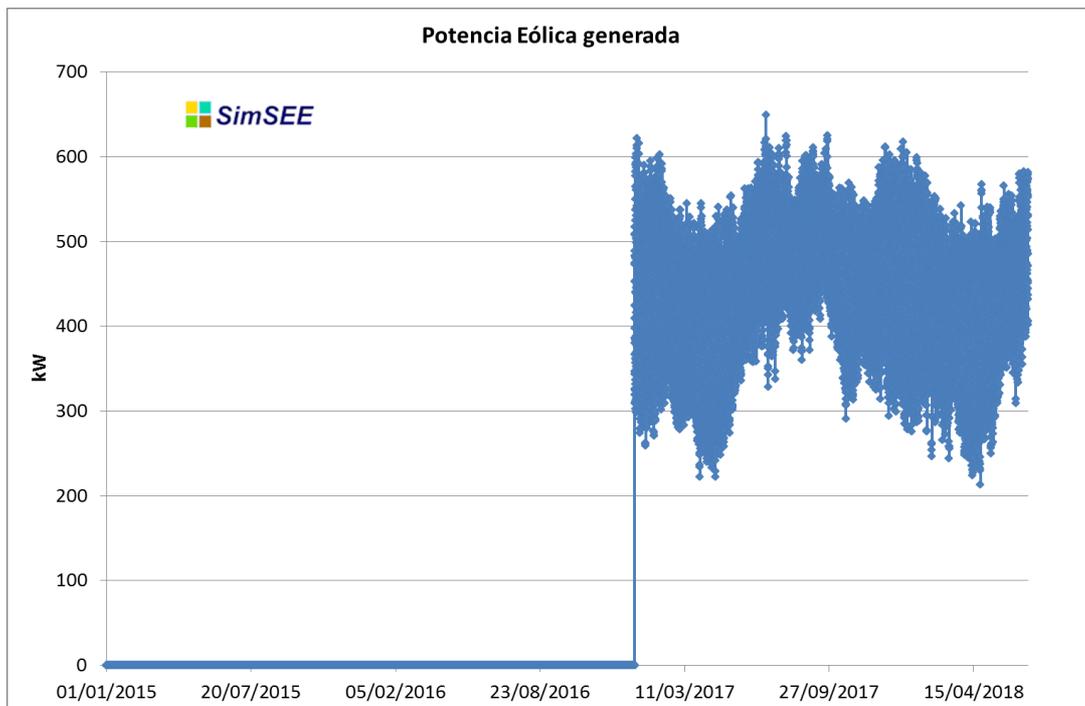
Gráfica 12: Demanda Frigo 1 Escenario 2



Gráfica 13: Demanda Frigo 2 Escenario 2

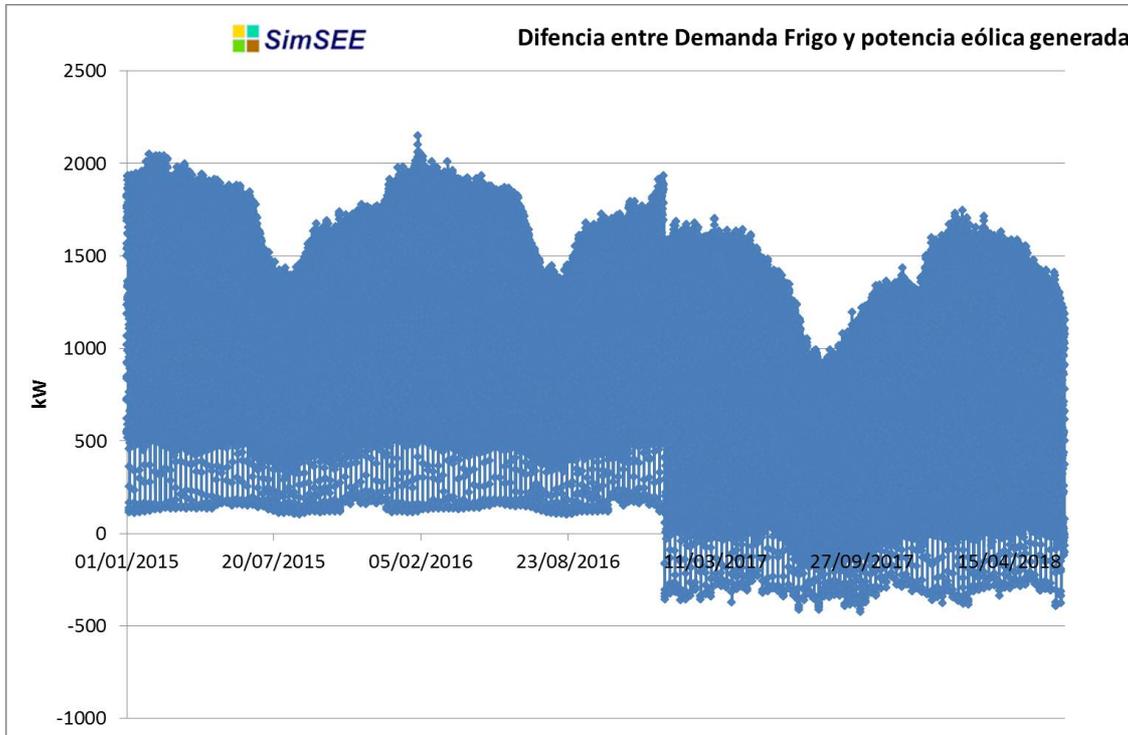
Escenario 3:

En la gráfica 14 se muestra la potencia entregada por el aerogenerador escogido. En la misma observa el momento en el que dicho equipo entra en funcionamiento:



Gráfica 14: Potencia Eólica Generada Escenario 3

Como se mencionó anteriormente se utilizó el sistema modelado en la sala base, por lo que para resultados más confiables, se requerirá la definición exacta del lugar a colocar el aerogenerador así como mediciones in-situ del viento. De esta forma se podrá seleccionar el equipo más adecuado con su factor de carga correspondiente.



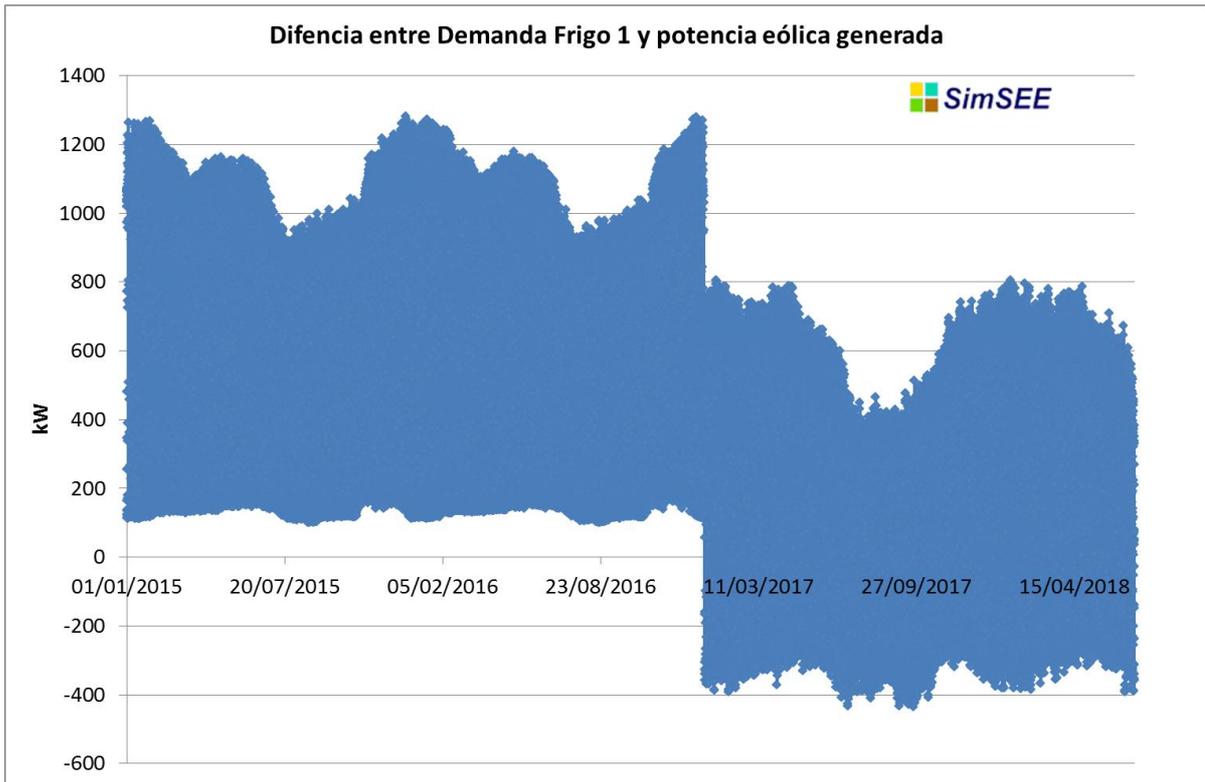
Gráfica 15: Diferencias entre la Demanda del Frigorífico y la Potencia Eólica generada

En el gráfico anterior se puede ver el descenso de potencia consumida proveniente de UTE como consecuencia de la utilización de la fuente eólica.

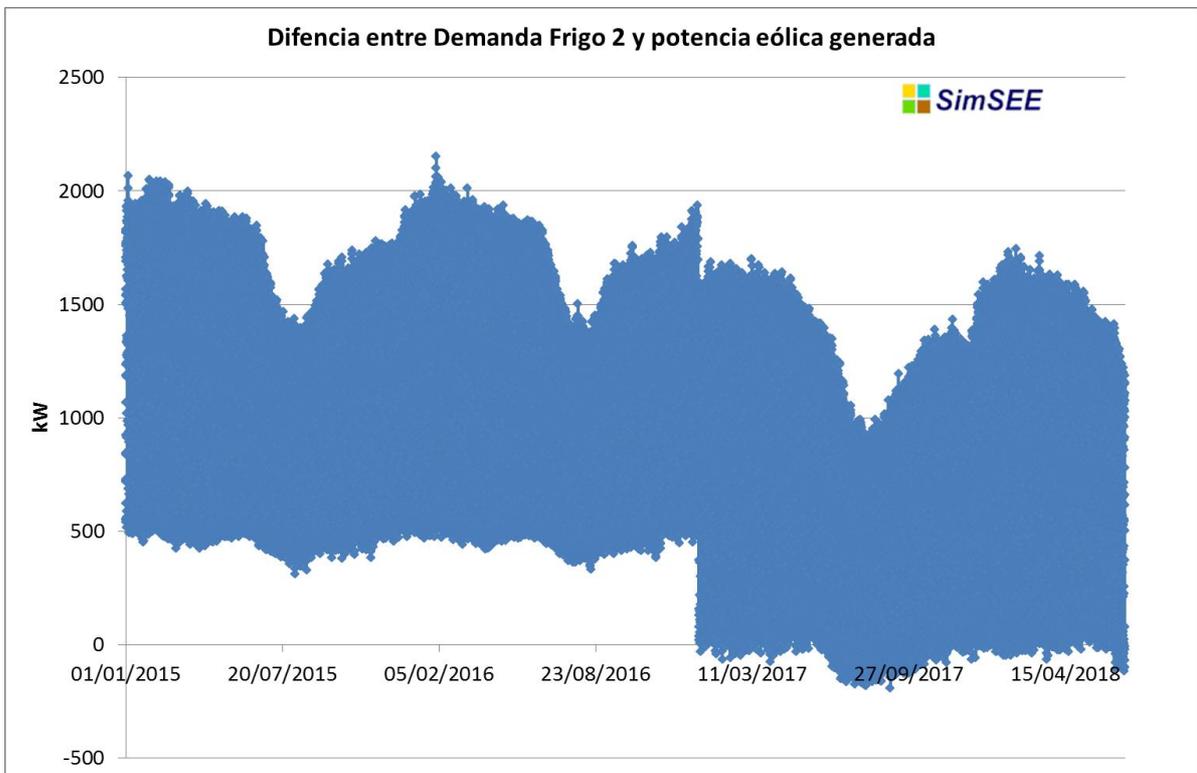
No obstante se observan datos que evidencian una sobre-generación con respecto a la demanda requerida (potencias negativas en el gráfico). Resultará importante la identificación de estos momentos para, teniendo en cuenta el marco legal vigente seleccionar la mejor opción de operación del sistema. A modo de ejemplo se pueden mencionar la consideración de cambios de turno, el desfase de procesos, el redimensionamiento del aerogenerador, etc.

Si observamos la diferencia anterior para las demandas de acuerdo al tipo de día, se observa que los días domingo la misma puede llegar como máximo a valores de potencia excedentaria más del doble que para los días hábiles (434 kW vs 192 kW).

Además para los días no hábiles en casi el 14 % de los valores horarios obtenidos se muestra la excedencia mencionada anteriormente. Sin embargo para los días hábiles esto sucede en el 2% de los mismos.



Gráfica 16: Diferencias entre la Demanda Frigo 1 y la Potencia Eólica generada Escenario 3



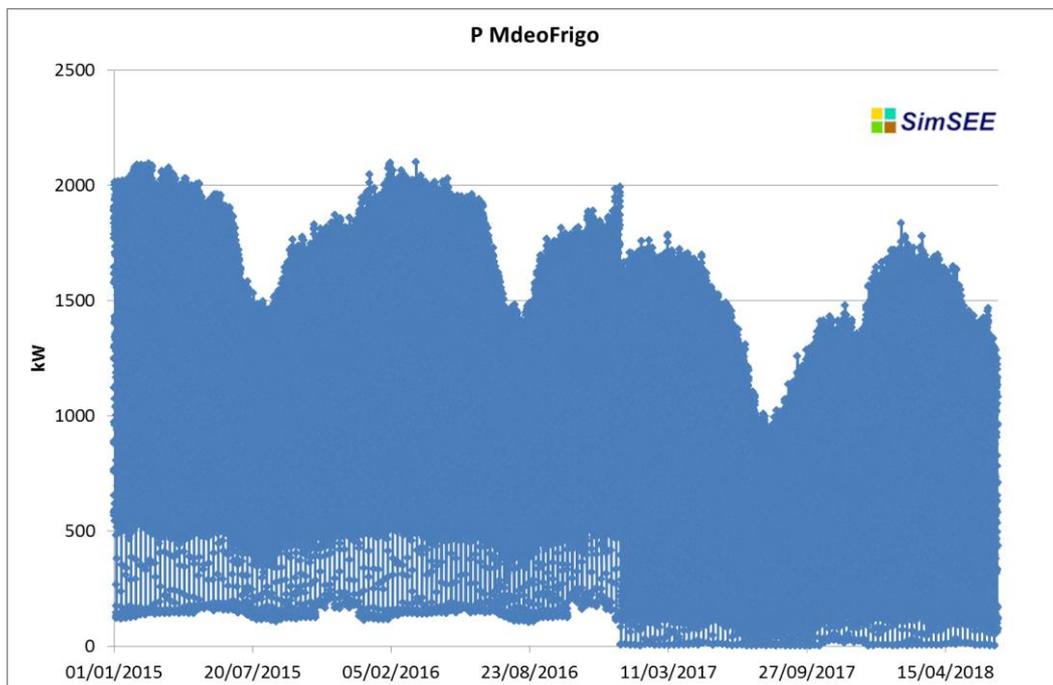
Gráfica 17: Diferencias entre la Demanda Frigo 1 y la Potencia Eólica generada Escenario 3

Por otro lado, al analizar los arcos entre los nodos Mdeo y Frigo se puede ver la potencia que “importa” el frigorífico del sistema y el excedente “exportado” al introducir la ERNC.

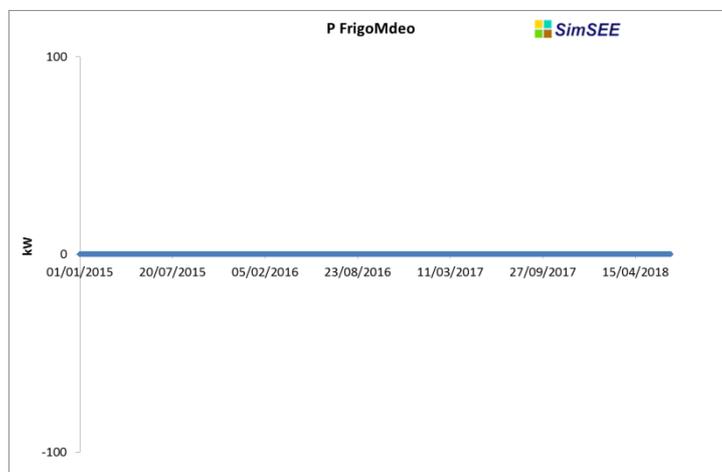
En este caso vale hacer la aclaración, que en nuestro proyecto se trabaja con la modalidad de AUTOGENERADOR por lo que no es posible volcar el excedente a la red. Esto se logra colocando un peaje muy elevado en el arco (Frigo→Mdeo) de manera de evitar la exportación y que el sistema decida fallar.

No obstante y para analizar la posible excedencia de potencia que se podría volcar a la red si la modalidad fuera PARTICIPANTE CONSUMIDOR, se anula el peaje.

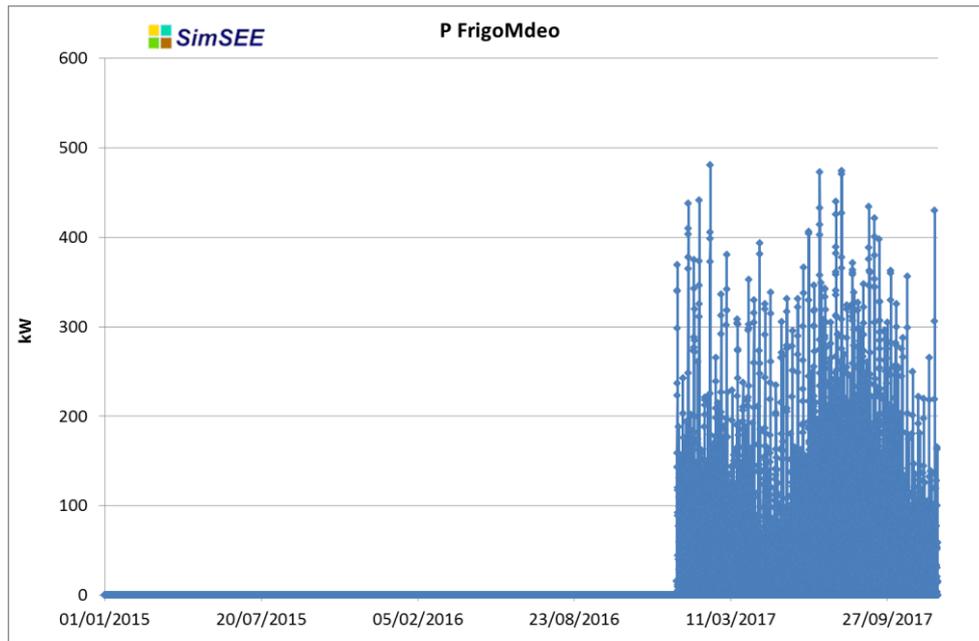
En las gráficas 18 ,19 y 20 se observan estos casos:



Gráfica 18: Potencia del Arco Mdeo→ Frigo: Potencia “importada” por el Frigo



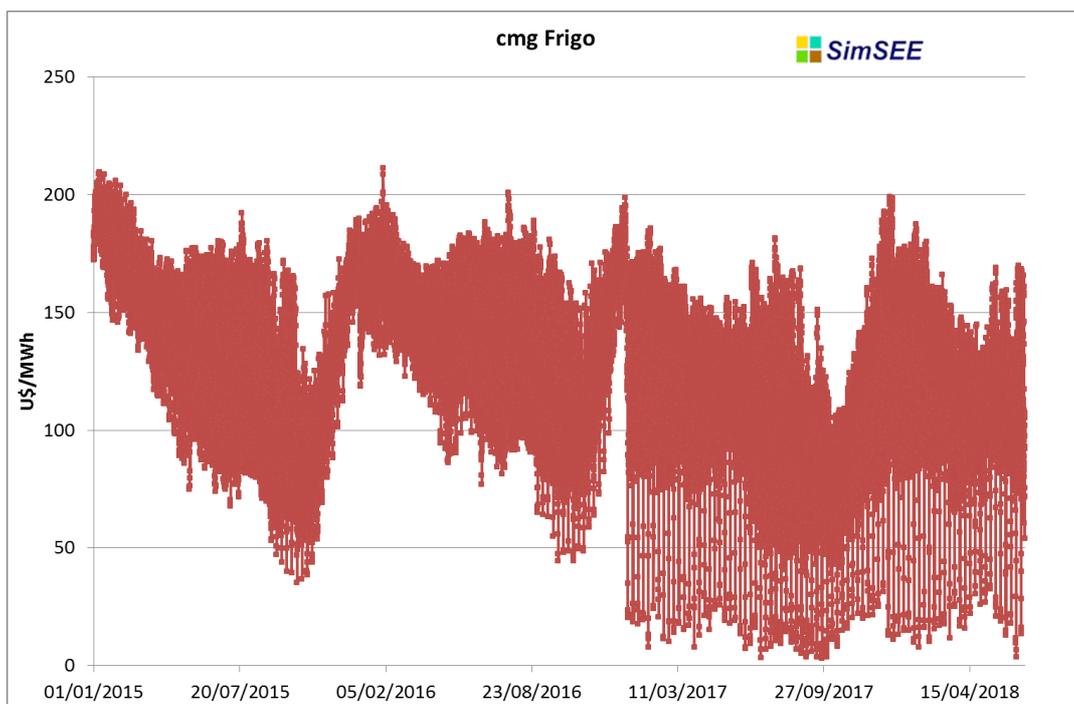
Gráfica 19: Potencia del Arco Frigo →Mdeo: Falla



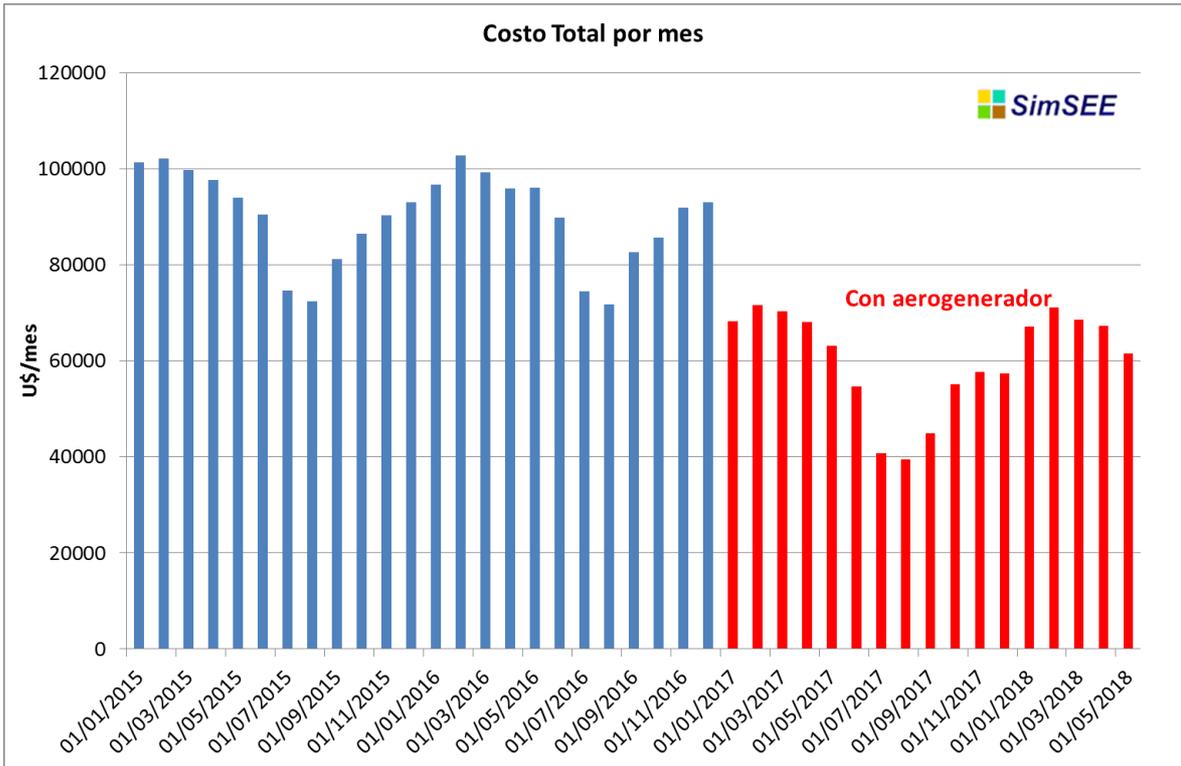
Gráfica 20: Potencia del Arco Frigo → Mdeo: Potencia “exportada” por el Frigo

Como se puede apreciar mientras no existe el aerogenerador la potencia entregada por el Arco Mdeo → Frigo coincide con la demanda del frigorífico. Luego y a partir de la incorporación del mismo, se ve una disminución y así la industria deberá importar menos energía del sistema.

Por otro lado si esa disminución en la energía comprada a UTE se traduce en costos marginales (U\$/MWh) y en costos totales mensuales (U\$) se observa:



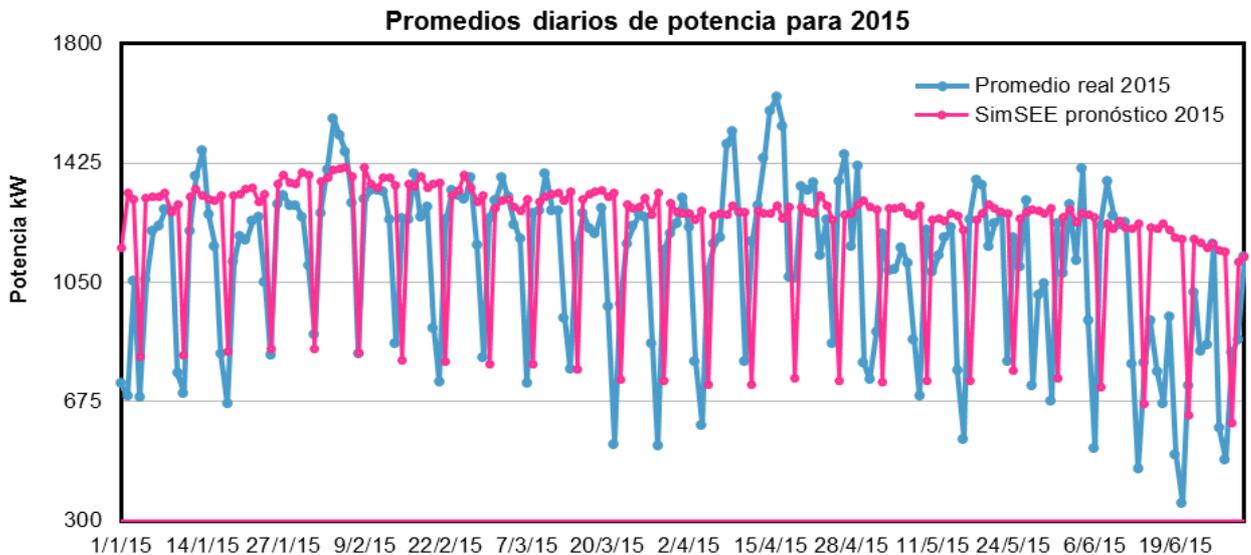
Gráfica 21: Costo marginal del Frigo



Gráfica 22: Costo mensual en Energía Eléctrica

Evidentemente este pre-análisis de costos es apenas una aproximación y para poder hacer realmente un estudio más riguroso se deberá en primer lugar, verificar el grado de ajuste de la demanda simulada con los datos reales. Esto resulta factible ya que se cuentan con los datos reales para el primer semestre del año 2015.

En este sentido, se realizó la comparación de los datos de potencia medidos con respecto al pronóstico obtenido del modelado realizado.



Gráfica 23: Diferencias ente los promedios diarios simulados por SimSEE y datos reales

En el gráfico 23 se ven algunas diferencias y si bien los datos están en el mismo rango de valores, se detectan en la realidad algunos valores por encima y por debajo de los esperados y variaciones pronunciadas.

Por otro lado, el costo total se realizó tomando un promedio ponderado del costo del kWh de acuerdo a la franja horaria y los consumos en cada una de las mismas. Lo realmente correcto sería utilizar una fuente tipo selector horario que asigne exactamente el costo de acuerdo a la hora.

5. Conclusiones.

- Se logró un modelado de la demanda del frigorífico que permite reproducir el comportamiento de la misma para un pronóstico de 3 años.
- Se verifica con la entrada del aerogenerador, la disminución de la energía entregada por UTE al frigorífico.
- A priori resulta factible analizar y optimizar la incorporación de ERNC en medianos consumidores utilizando el SimSEE.

6. Posibles futuros trabajos.

Dada la comparación hecha entre los datos pronosticados y las mediciones reales y debido a las variaciones encontradas, puede ser importante lograr un mejor ajuste de los datos para optimizar este modelo. Así para reproducir mejor la dinámica del frigorífico, una de las opciones y a modo de ejemplo es utilizar una base de datos de demanda de más de un año.

Por otro lado, para completar el estudio de la incorporación del aerogenerador mencionado se deberá analizar la viabilidad técnica y económica de este proyecto para así decidir. En particular se deberán analizar con más detalle:

- los costos asociados
- los ahorros asociados
- los horarios de generación y su perfil
- los valores máximos y mínimos generados
- los tiempos de retorno de la inversión, etc.

Por último y luego del estudio de la demanda realizado, resulta interesante analizar la posibilidad de estudiar otras energías alternativas (solar fotovoltaica y/o solar térmica).