



Identificación del Trabajo	
Área:	Energía
Categoría:	Alumno
Regional:	Santa Fe

## **Análisis del impacto de vehículos eléctricos en una red urbana de tipo residencial en su modo dual de funcionamiento carga-almacenamiento**

**Mariano Miguel PERDOMO, Marcos CEA, Dino GHISOLFI, Carlos Ariel LUCERO, Bruno PIROLA**

*Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE) (Lavaise 610, Santa Fe), Facultad Regional Santa Fe, UTN*

E-mail de autores: [perdomomariano@hotmail.com](mailto:perdomomariano@hotmail.com), [marcoscea28@gmail.com](mailto:marcoscea28@gmail.com), [dinoghisolfi@gmail.com](mailto:dinoghisolfi@gmail.com), [ariellucero05@gmail.com](mailto:ariellucero05@gmail.com), [brunopirola7@gmail.com](mailto:brunopirola7@gmail.com)

*Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Ulises Manassero, en el marco del proyecto “Impacto de la utilización de sistemas de almacenamiento y cogeneración para la optimización del despacho de energía en micro-redes eléctricas”. (2018 – 2019)*

### **Resumen**

A los efectos de reducir la contaminación en el sistema de transporte, los vehículos eléctricos (VE) surgen como reemplazo de los medios convencionales de locomoción. Este trabajo presenta un análisis del nivel de inserción de VE en una red de 13,2 kV, mediante la evaluación de diferentes tecnologías de cargadores (carga lenta y semi-rápida), distintos hábitos de consumo del usuario y un funcionamiento en modo dual de los VE. Se evaluaron perfiles de carga-descarga con el propósito de “aplanar” la curva de demanda del alimentador. Se realizaron sucesivos flujos de carga diarios, incrementando gradualmente el número de VE.

Los resultados demuestran que la red estudiada, soporta una inserción del 100% de VEs para ambos sistemas de carga analizados. Las limitaciones de la red se presentan por sobrecarga en el primer tramo troncal del distribuidor. El sistema de carga semi-rápida genera mayor impacto en términos de potencia demandada en la red.

**Palabras Claves:** Vehículos eléctricos; Inserción; Curva de demanda; Sistema de carga

### **1. Introducción**

Los medios de transporte urbanos que emiten gases de escape, contribuyen significativamente a la contaminación atmosférica. Los automóviles impulsados mediante los tradicionales motores de combustión interna generan emisiones de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y monóxido de carbono hacia la atmósfera en grandes cantidades, incrementando los niveles de contaminación ambiental, principalmente en regiones con alta densidad de población. (Nieuwenhuijsen, 2016).

Surgen los vehículos eléctricos (VEs) como una contribución a la disminución de la contaminación atmosférica, siendo un sistema de transporte que progresivamente irá reemplazando a los medios tradicionales de locomoción impulsados mediante motores de combustión interna (MCI) con quemado de combustibles fósiles. (Gustafsson y Johansson, 2015).

En la actualidad, los costos de adquisición de los VEs manifiestan una disminución gradual, debido principalmente a la reducción del precio de las baterías, sumado a la tendencia

internacional a la alza de los hidrocarburos, los posibles impuestos sobre el CO<sub>2</sub> (Andersson, 2017) y la aplicación de políticas de incentivo en el uso de tecnologías de transporte más limpias. En este contexto, el presente trabajo expone un análisis de la inserción de VEs en una red de distribución urbana residencial de 13,2 kV, a partir de la sustitución progresiva del actual parque automotor conformado por vehículos con MCI que poseen los usuarios de la red eléctrica. La metodología utilizada consiste en modelar la red compuesta por cuatro distribuidores de 13,2 kV de la ciudad de Santa Fe, a los que se le asigna un perfil de demanda propio de cada distribuidor. Se definen perfiles de carga diarios según distintos tipos de usuarios residenciales, considerando los diferentes hábitos cotidianos que poseen los mismos. Se analiza la variación de la demanda eléctrica correspondiente al sector de usuarios residenciales para sistemas de carga de VEs de tipo lenta y semi-rápida. Se simulan los flujos de carga diarios con un porcentaje de participación equitativo para los distintos perfiles de carga propuestos con el fin de analizar cómo impacta este cambio en las condiciones de operación de la red en estudio. Se propone una modificación en los patrones de carga por parte de los usuarios residenciales con el objetivo de disminuir el aporte de los VEs en los horarios de pico de demanda del sistema, lograr una mayor eficiencia en la operación de la red en estudio y evitar la ejecución de obras de expansión para abastecer la demanda adicional de los VEs. Por último se analiza el funcionamiento en modo dual de los VEs, realizando simulaciones de flujos de carga horarios con perfiles de carga-descarga (devolución de energía a la red) con el objetivo de evaluar el impacto del aporte de energía del VE al sistema.

## **2. Metodología**

La metodología propuesta para analizar el impacto de la inserción masiva de VEs en una red típica de distribución, consistió en el estudio de una red urbana de 13,2 kV con topología de operación netamente radial. Se realizó el modelado de una red conformada por cuatro distribuidores (denominados A, B, C y D), los cuales abastecen un total de 26 subestaciones transformadoras (SETs). La potencia total operada por cada distribuidor se distribuye en demandas puntuales que representan cada una de las SETs vinculadas a dicho distribuidor, de acuerdo a los balances históricos de la energía consumida por cada SET. Se aplica un perfil de carga diferente en cada distribuidor (ver Figura 1) correspondiente a un día hábil típico de invierno, según los datos que se pudieron recolectar de la base de datos utilizada.

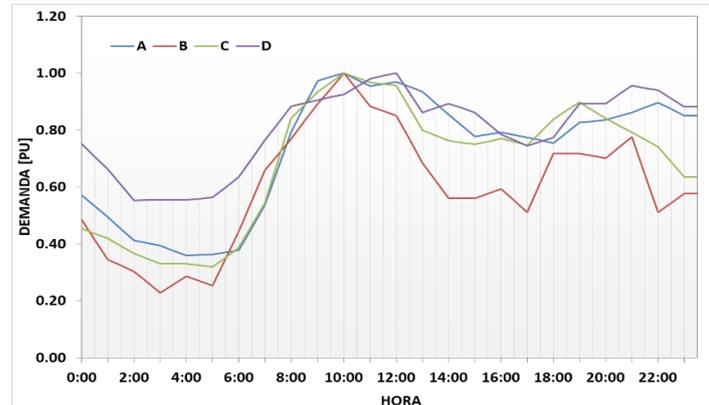
Posteriormente se estima el número de vehículos por usuario eléctrico, a partir de estudios estadísticos del INDEC (2010) y ADEFA (2017). Se realiza el modelado del proceso de carga de las baterías de los VEs suponiendo un modelo representativo de las baterías con que se equipan actualmente las diferentes marcas de VEs (Martinez Vicente 2011). También se especifican dos sistemas de carga: carga lenta de 3,5 kW de potencia nominal y carga semi-rápida de 7 kW. Luego se proponen distintos perfiles de usuarios (comercial, público y ama de casa) generando un total de nueve patrones de carga distintos de los VEs, teniendo en cuenta los horarios de trabajo, distancias recorridas, tiempo y horarios de conexión en el hogar.

### *2.1. Hipótesis adoptadas en las simulaciones*

Para el modelado y las condiciones admisibles de operación de la red de distribución de 13,2 kV, se adoptan los siguientes supuestos:

- Niveles de calidad del producto técnico exigidos en el Anexo 27 de Los Procedimientos de CAMMESA (CAMMESA, 2012).

- Factor de potencia de las demandas igual a 0,85 inductivo.
- Cargabilidad de elementos de la red según tres límites propuestos: i) cargabilidad nominal (carga hasta el 100% y sin posibilidad de respaldo a otros distribuidores de la red); ii) cargabilidad hasta el 66% del valor nominal (con posibilidad de socorro de otros distribuidores hasta el 33%); iii) cargabilidad hasta el 50% del valor nominal (con posibilidad de socorro de otros distribuidores hasta el 50%).



**Figura 1.** Perfiles de carga diarios adoptados para los distribuidores.

### 2.2. Descripción de la red de distribución urbana modelada.

El análisis del impacto de la inserción de VEs se realiza sobre una red de distribución urbana-residencial típica de la ciudad de Santa Fe. La red en estudio se compone por un Centro de Distribución (CD), que alimenta 4 distribuidores. A su vez, cada distribuidor abastece un conjunto de SETs de 13,2/0,4 kV que varían de 2 a 11 por distribuidor. Las secciones y longitudes de los conductores son variables. El CD es alimentado por una Estación Transformadora (ET) de 132/33/13,2 kV mediante dos alimentadores conformados por ternas de cables subterráneos de sección 3x1x400 mm<sup>2</sup>, conductor de Al y aislación de XLPE. En la tabla 1 se encuentran especificadas las características de cada distribuidor.

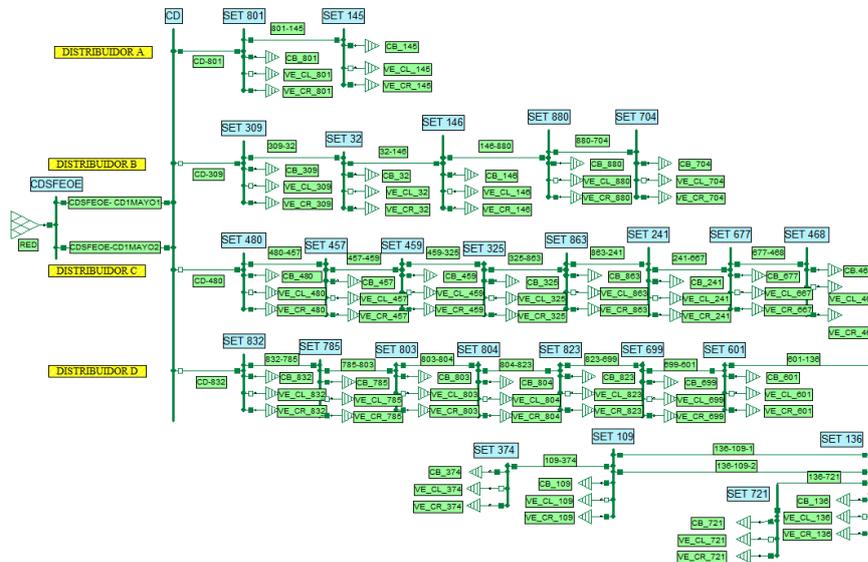
**Tabla I.** Características de los distribuidores

Nombre distribuidor	Nº de SETs	Nº de usuarios	Long. Troncal [km]	S <sub>max</sub> [MVA]	F <sub>Carga</sub> P <sub>med</sub> /P <sub>máx</sub>	Cargabilidad [%]
A	2	489	0,82	1,54	0,72	34,35
B	5	1132	1,21	0,92	0,59	16,50
C	8	2194	2,35	2,71	0,68	60,60
D	11	1932	3,88	2,10	0,80	37,95

### 2.3. Modelado de la red de distribución urbana residencial de 13,2 kV

Para modelar la red de distribución de 13,2 kV tipo urbana residencial se utilizó el software Neplan 5.3.51 de simulación de sistemas de potencia. A partir de este modelo de red (ver Figura 2) se realizaron sucesivas simulaciones de flujos de carga con un paso de cálculo de 30 minutos, resultando en un total de 48 simulaciones para un perfil de carga diario. Las distintas simulaciones se corresponden con análisis de carga lenta y semi-rápida de los VEs con distintos niveles de

inserción de los mismos, asignando niveles equitativos de porcentajes de participación de los distintos tipos de perfiles de carga propuestos.



**Figura 2.** Modelado de la red de distribución de 13,2 kV

#### 2.4. Estimación del parque automotor y características de patrones de carga de los VEs

Según informes presentados por la Asociación de Fabricantes de Automotores (ADEFSA, 2017), se extrae como dato una relación de 3,26 habitantes por automóvil de uso doméstico. Por otro lado, según informes estadísticos del INDEC (2010), en la provincia de Santa Fe la cantidad de habitantes por hogar es en promedio de 3,3. De este análisis se estima que la cantidad de automóviles por hogar en la ciudad de Santa Fe es de uno. Se considera como usuario residencial a cada hogar.

Los cuatro distribuidores en conjunto alimentan un total de 5.747 hogares, resultando el parque automotor del orden de 5.747 vehículos convencionales de combustión interna.

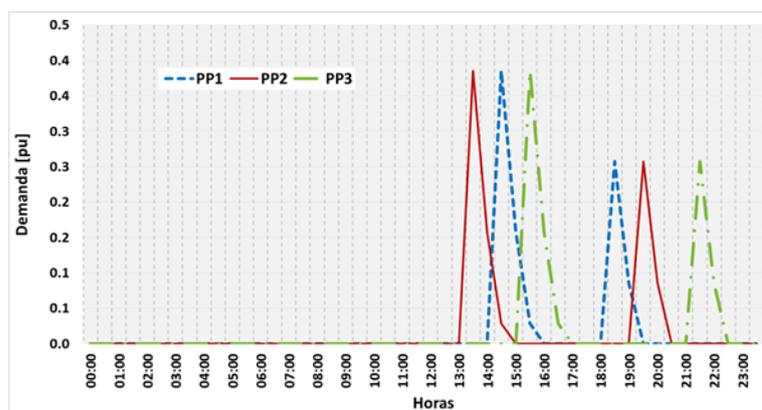
En la red de estudio se analiza el reemplazo gradual de los automóviles con MCI por VEs. Se realizan las simulaciones correspondientes aumentando los niveles de inserción de los VEs y analizando el comportamiento de las variables eléctricas de la red.

Con respecto a la carga de las baterías de los VEs a vincularse a la red, se consideran los sistemas de carga domiciliarios: Carga lenta y Carga semi-rápida. En el presente estudio se utilizan curvas de carga de una batería estándar con capacidad de 16 kWh y tecnología Ion-litio, la cual se conforma de tres etapas (Martínez Vicente, 2011): i) fase bulk: trabaja con corriente constante en incremento del voltaje hasta que la batería alcanza el valor máximo permitido en cada celda; ii) fase absorción: se limita la capacidad de absorción de corriente de manera exponencial hasta completar la carga y la tensión se mantiene constante; iii) fase flotación: mantiene la capacidad de la batería compensando el proceso de autodescarga.

Luego, se proponen nueve patrones de carga diferentes según los hábitos cotidianos de los usuarios. En base a la ocupación de cada tipo de usuario se estiman los tiempos de permanencia que el VE estará conectado en el hogar suponiendo que en el momento de arribo al mismo el usuario lo conecta a la red domiciliaria independientemente del nivel de energía que posea la batería en ese momento, a los fines de evitar condiciones imprevistas de descarga total de la

batería en la vía pública. Se asume que los VEs se cargan únicamente en los domicilios particulares de los usuarios, sin tener en cuenta posibles cargas en lugares públicos y/ privados. Se definen tres perfiles de carga de VEs denominados perfil comercial, público y ama de casa, existiendo desplazamientos de horarios en cada uno de estos perfiles particulares.

El consumo diario de energía del VE se estima según las distancias recorridas. Se adopta un consumo de 0,2 kWh/km, siendo este un valor representativo de los VEs en el mercado (Ángel Rosso, 2010). Según el consumo dependiente de las distancias recorridas, de las curvas de potencia (respectivas a cada sistema de carga) y los horarios de conexión, se elaboran los perfiles de los sistemas de carga lenta y semi-rápida, para los distintos tipos de usuario. En la Figura 3 se muestra el ejemplo de la curva de carga semi-rápida para los usuarios con un Perfil Público (PP).



**Figura 3.** Perfil de carga de VEs, de usuarios con Perfil Público y carga Semi-rápida.

### 2.5. Determinación de la potencia nominal de la inserción de VEs

Se contabiliza primeramente el número de usuarios por SET en cada uno de los cuatro distribuidores de 13,2 kV en estudio. La potencia total a introducir en cada SET, correspondiente a la inserción de VEs, se obtiene en función a la cantidad de usuarios residenciales, la potencia de recarga de un VE -que depende del tipo de sistema de carga (lenta o semi-rápida)- y el porcentaje de inserción de VEs. Esta potencia obtenida es afectada por el perfil de carga generado para cada tipo de usuario y el porcentaje equitativo de participación de los nueve perfiles de carga de los VEs. Luego, en el software Neplan 5.3.51 de simulación de flujos de potencia se obtienen los resultados buscados para el análisis correspondiente.

### 2.6. Funcionamiento en modo dual de los VEs

En este caso se evalúa el funcionamiento de los VEs con la posibilidad de inyectar a la red la energía almacenada en sus baterías. Para este sistema, denominado V2G (Vehicle to Grid), se analiza la variación de las condiciones de operación de la red con distintos niveles de inserción de VEs (variaciones del 10%). Inicialmente se cuantifica el valor de la energía total almacenada del parque de VE de la red de estudio, mediante un análisis del consumo diario de los distintos perfiles de usuarios y considerando un factor de profundidad de descarga de la batería del 70% (la batería de los VEs aportan energía a la red, sin descargarse por debajo del 30%). De esta manera, con la batería y el consumo adoptados en el estudio, los usuarios en caso de necesitar

utilizar el VE inmediatamente después del aporte total de energía pueden recorrer una distancia de aproximadamente 25 km.

Luego se crean los perfiles diarios de aporte de energía a la red mediante los VEs. Se proponen tres casos de sistemas V2G; en todos ellos el aporte de energía se inicializa desde las 18:00 horas: i) Aporte de energía con una potencia de 7 kW por cada VE donde los períodos de inyección a la red varían según los distintos perfiles de usuarios (1 hora en promedio), pues difiere la cantidad de energía almacenada en las baterías según las distancias recorridas durante el día hasta el momento mencionado. ii) Aporte de energía con una potencia de 3,5 kW, donde el promedio de aporte para los distintos perfiles de usuarios es de 2 horas. iii) Aporte de energía hasta las 22:00, obteniendo el valor de potencia entregada al sistema por cada VE y tipo de usuario en función a un aporte de energía constante en este lapso de tiempo y hasta alcanzar un nivel de reserva de carga de la batería del 30% de su capacidad nominal.

Por último, finalizado el período de aporte de energía a la red, la carga de las baterías se simula en el período de valle nocturno, entrando alternadamente al sistema los distintos tipos de usuarios con el fin de distribuir la carga de los VEs en esta zona de la curva de demanda, evitando picos de potencia indeseados en el sistema. Los sistemas de carga utilizados en los tres casos de V2G de estudio son: i) Carga semi-rápida; ii) Carga lenta; iii) Carga semi-rápida.

### 3. Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos de las simulaciones se encuentran resumidos en gráficas de los niveles de cargabilidad máxima de los distribuidores y de tensión mínima de los nodos de 13,2 kV para distintos niveles de inserción de VEs que reemplazan a los autos impulsados mediante MCI del parque automotor. Además, para el caso de máxima inserción de VEs admitida en la red, se presentan los cálculos de los Factores de Pico ( $F_p$ ) y Factores de Carga ( $F_c$ ).

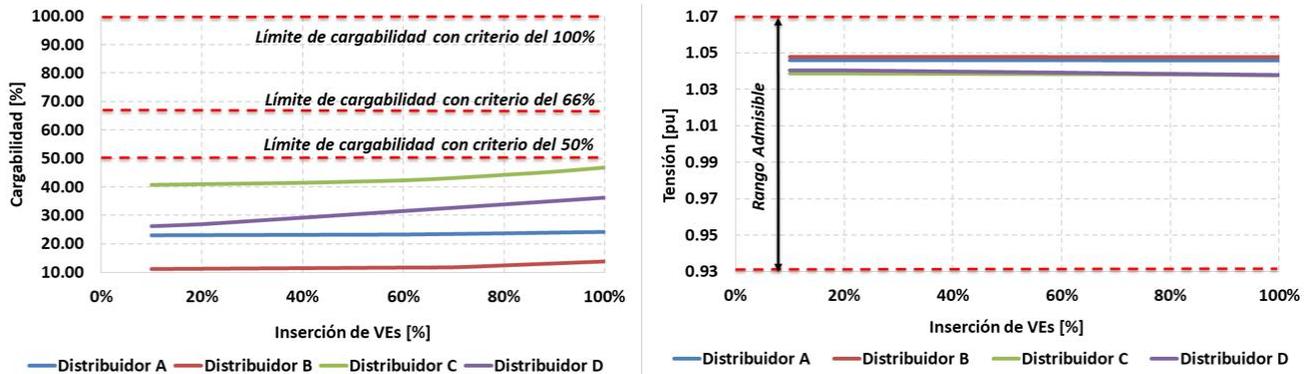
El  $F_p$ , resulta útil para evaluar, en términos de potencia, la contribución de la carga de VEs al pico de demanda del distribuidor. Relaciona las corrientes máximas diarias del distribuidor para escenarios de demanda con y sin la carga de VEs. En condiciones ideales, este factor debiera ser igual a la unidad, lo cual implica que la conexión de cargas eléctricas adicionales no signifiquen mayores exigencias de cargabilidad del distribuidor tal que reduzcan su capacidad remanente y/o exijan obras de infraestructura eléctrica como refuerzo del mismo.

Por otra parte, el  $F_c$  relaciona la potencia media (asociada a la energía real operada) con la potencia máxima registrada durante todo el período de estudio. Este indicador permite evaluar, en términos de energía, el grado de aprovechamiento del distribuidor, con lo cual valores recomendables deberían estar entre 0,6 a 0,8 a los fines de evitar un sub-aprovechamiento de las instalaciones. Valores muy bajos de  $F_c$  implican instalaciones sobredimensionadas y diseñadas para soportar los picos de muy corta duración de la red.

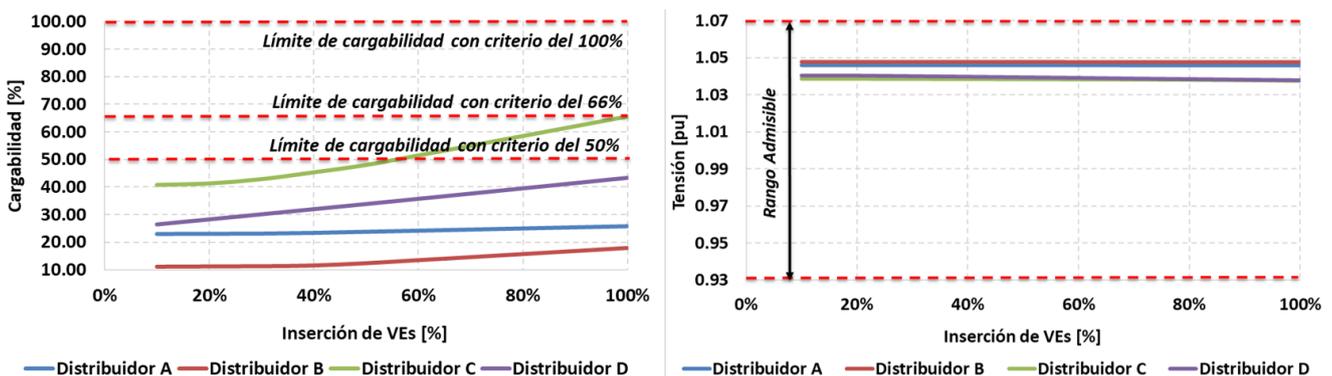
En la figura 4 se muestran los resultados obtenidos para los sistemas de carga lenta de VEs, donde se observa que la red de estudio admite el reemplazo completo del parque automotor de MCI de los usuarios de la red por otro de VEs. La red presenta cargabilidades menores al 50% de la capacidad nominal de sus conductores y perfiles de tensión que manifiestan una reducción marginal menor al 1% para todos los distribuidores, aún con inserción de VEs del 100%.

En la figura 5 se exponen los resultados obtenidos para los sistemas de carga semi-rápida, donde se observa que, a excepción del distribuidor C, los demás distribuidores admiten un reemplazo del 100% del parque automotor a base de MCI por VEs.

El distribuidor C restringe a un 50% la inserción de VEs, llegando en este punto al límite admisible según el criterio de mayor confiabilidad de operación de la red en el cual se admite una cargabilidad máxima del 50% del distribuidor. Las razones de este fenómeno se deben al elevado número de usuarios abastecidos por este distribuidor y el alto nivel de carga preexistente en el mismo, que ronda un 40% de su capacidad nominal.



**Figura 4.** Para patrones de carga lenta. En la izquierda: Cargabilidad máxima; En la derecha: Tensiones mínimas.



**Figura 5.** Para patrones de carga semi-rápida. En la izquierda: Cargabilidad máxima; En la derecha: Tensiones mínimas.

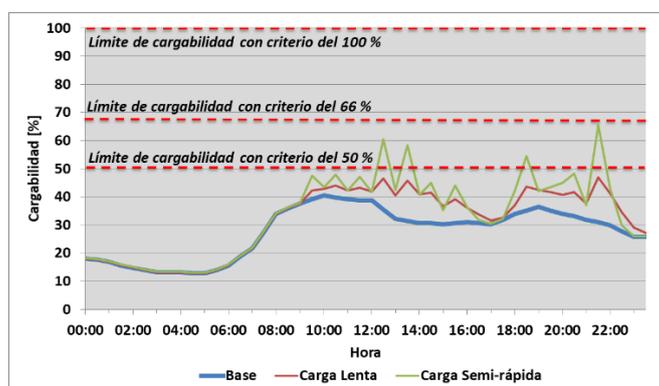
### 3.1. Análisis de Cargabilidad y potencias máximas de los elementos

En la Tabla II se exponen las comparaciones de los  $F_c$  y  $F_p$  entre el caso base (sin inserción de VEs) y el escenario con una inserción del 100% de VEs para los dos tipos de carga analizados.

**Tabla II.**  $F_c$  y  $F_p$  para los cuatro Distribuidores.

Caso	Carga lenta								Carga semi-rápida							
	Distr. A		Distr. B		Distr. C		Distr. D		Distr. A		Distr. B		Distr. C		Distr. D	
	$F_c$	$F_p$	$F_c$	$F_p$	$F_c$	$F_p$	$F_c$	$F_p$	$F_c$	$F_p$	$F_c$	$F_p$	$F_c$	$F_p$	$F_c$	$F_p$
Base	0,72	1,00	0,59	1,00	0,68	1,00	0,80	1,00	0,72	1,00	0,59	1,00	0,68	1,00	0,80	1,00
100%	0,72	1,05	0,60	1,25	0,67	1,16	0,65	1,39	0,68	1,12	0,47	1,63	0,51	1,62	0,55	1,67

Del análisis de los valores de  $F_p$ , se observa que para los sistemas de carga lenta los mismos se incrementan en un rango del 5-40% según el distribuidor, mientras que en los sistemas de carga semi-rápida en rango de incremento resulta mayor con valores que varían entre un 12 y 67%. Con respecto al  $F_c$ , los resultados demuestran la existencia de un desmejoramiento notable de este factor en los cuatro distribuidores para los sistemas de carga semi-rápida y adicionalmente en el distribuidor D para el sistema de carga lenta. Por otro lado, en los distribuidores A, B y C con carga lenta se observa una variación marginal del  $F_c$ . Este desmejoramiento de los factores se debe a la intensificación de la carga máxima operada por los distribuidores debida a la coincidencia de los horarios de conexión de los VEs a la red con el pico de demanda del sistema. A modo de ejemplo, se presentan en la figura 6 las curvas de carga diaria del distribuidor C comparando los casos Base y con inserción del 100% de VEs, de ambos patrones de carga.



**Figura 6.** Impacto en la curva diaria de carga de la inserción de VEs en Distribuidor C.

En todos los casos analizados, la red de estudio muestra como elemento más comprometido en términos de cargabilidad al primer tramo de los distribuidores, donde se alcanzan los niveles de carga mayores en el recorrido total del distribuidor. Al tratarse de una red de tipo radial, los primeros tramos de los distribuidores transfieren toda la energía demandada por el mismo, por esto, este tramo de la línea tiene altas probabilidades de ser el más exigido.

### 3.2. Propuesta de nuevos perfiles de carga de VEs para mejorar la operatividad de la red.

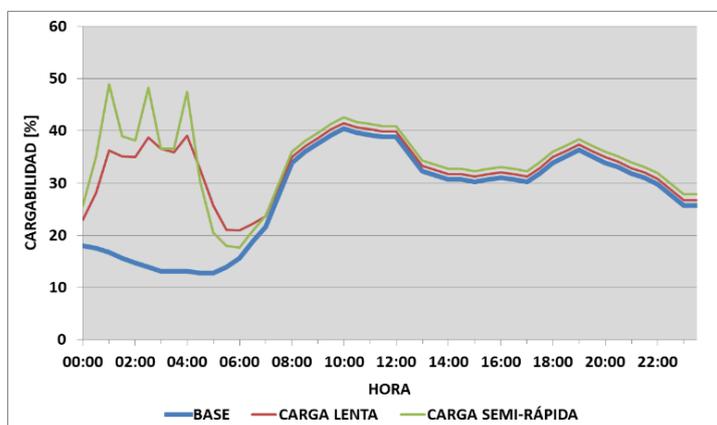
Los resultados de las simulaciones demuestran que ambos sistemas de carga de VEs impactan en las condiciones de operación de la red de manera negativa, incrementando el pico de carga del sistema (aumenta el  $F_p$ ) y desmejorando el grado de utilización de los componentes que conforman la red (disminuye el  $F_c$ ). Esto se debe principalmente a los hábitos de los usuarios. Luego, con el objetivo de obtener un uso más eficiente de la red, se proponen modificaciones para todos los patrones de carga de VEs analizados, buscando que estos consuman energía de la red fuera de los horarios de demanda pico. Logrando así que no incrementen los picos diurnos y nocturnos existentes en la red, que se ubican temporalmente entre las 09:00 a 12:00 hs y entre las 18:00 a 22:00 hs respectivamente. Momentos antes y después de estos horarios de pico, las curvas de demanda tienen tendencias de ascenso y descenso en los rangos horarios denominados de resto. Fuera de estas zonas mencionadas se encuentran los períodos de valle, donde se propone que los usuarios residenciales realicen la recarga de las baterías de sus VEs. Con estas consideraciones se adopta como horario de conexión de los VEs a la red las horas del valle nocturno de 00:00 a 06:00 hs con el objetivo de lograr mejorar la operatividad de la red.

Los resultados de las simulaciones con los nuevos patrones de carga de VEs se muestran en la tabla III y en la figura 7, donde se evidencia que la recarga de VEs en las horas de valle, impacta favorablemente en la curva de carga de los distribuidores, aplanando la mismas (reducción del margen entre los valores de pico y valle de la curva de demanda diaria) y mejorando el nivel de utilización del equipamiento eléctrico de la red. Se mejoran ambos factores  $F_c$  y  $F_p$ .

En la práctica, estos perfiles de recarga de VEs pueden lograrse a partir de la aplicación de tarifas energéticas con variaciones de precio horarios y/o políticas energéticas de otro tipo que fomenten este patrón consciente de carga de los VEs.

**Tabla III.** Mejora de lo  $F_c$  y  $F_p$  para los cuatro Distribuidores.

Caso	Carga lenta								Carga semi-rápida							
	Distr. A		Distr. B		Distr. C		Distr. D		Distr. A		Distr. B		Distr. C		Distr. D	
	$F_c$	$F_p$	$F_c$	$F_p$	$F_c$	$F_p$	$F_c$	$F_p$	$F_c$	$F_p$	$F_c$	$F_p$	$F_c$	$F_p$	$F_c$	$F_p$
Base	0,72	1,00	0,59	1,00	0,68	1,00	0,80	1,00	0,72	1,00	0,59	1,00	0,68	1,00	0,80	1,00
100%	0,77	1,01	0,62	1,29	0,80	1,03	0,74	1,28	0,77	1,02	0,53	1,61	0,70	1,20	0,64	1,55



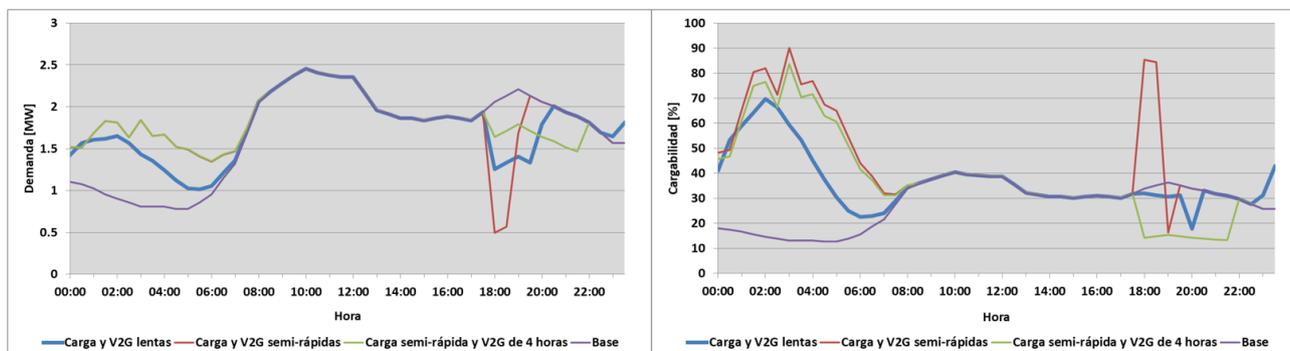
**Figura 7.** Impacto en la curva de demanda diaria del distribuidor C con una inserción controlada de VEs.

### 3.3. Propuesta de cubrimiento del pico nocturno de demanda con aporte energético de VEs.

Luego de realizar las simulaciones correspondientes al sistema V2G se obtienen los distintos parámetros de operación de la red en los tres casos planteados. A diferencia de los escenarios planteados sin entrega de energía a la red de los VEs, aquí se encuentran restricciones de operación por superación de la cargabilidad nominal de los elementos. En la figura 8 se presentan las curvas de cargabilidad y de potencia activa del distribuidor C, con una inserción de VEs del 50% y 10% respectivamente. Estos porcentajes de inserción de VEs seleccionados se justifican debido a que superado el 10% de inserción de VEs con V2G semi-rápido, para determinados intervalos horarios, la demanda del distribuidor queda prácticamente abastecida por el aporte de los VEs (demanda de potencia negativa del distribuidor, que implica una inversión del flujo de potencia desde el distribuidor hacia la red de MT). Para el caso V2G lento este valor es de 20% y para el caso V2G de 4 horas es de 40%. Por otro lado, cuando se supera el 50% de la inserción de VEs, para el caso V2G semi-rápido se supera la cargabilidad nominal, mientras que para los sistemas V2G lento y V2G de 4 horas estos valores son de 70% y 50% respectivamente.

De este análisis se desprende que con este modo de funcionamiento de los VEs, el sistema es más susceptible a operar fuera de los rangos admisibles de operación establecidos. Aunque la recarga de los VEs se realice en las horas del valle nocturno se alcanzan las condiciones de carga

nominal del distribuidor con niveles de inserción de VEs por encima del 50%. Esto se debe a que los VEs en estas condiciones deben recargar sus baterías desde un valor inicial del 30%, funcionando a máxima potencia de carga (3,5 o 7 kW) por mayor tiempo, según la curva de carga de las baterías. Por otro lado, se infiere que no es necesario un alto nivel de inserción de VEs para cubrir el pico de demanda de la red.



**Figura 8.** Para el distribuidor C y los tres casos. Izquierda: curvas de potencia activa (10% de VEs); Derecha: curvas de potencia activa. Curvas de cargabilidad (50% de VEs).

#### 4. Conclusiones

Los resultados obtenidos de las simulaciones demuestran que la red estudiada, con las hipótesis adoptadas, soporta la inserción del 100% de VEs para los sistemas de carga lenta y semi-rápida, mientras carezca de sistema V2G.

Los perfiles de tensión en los nodos de MT de la red no manifiestan variaciones apreciables con la inserción de los VEs. Por el contrario, esta inserción genera un aumento de la cargabilidad de las líneas notable en todos los distribuidores (entre un 2% a un 18%). El primer tramo de los distribuidores es el más afectado debido a la topología netamente radial de las redes analizadas. En todos los escenarios planteados, el sistema de carga semi-rápida genera mayor impacto en términos de potencia demandada en la red debido a que la potencia pico de este sistema de carga resulta del doble con respecto al sistema de carga lenta.

Por otra parte, el desarrollo de una tarificación horaria con precios diferenciados en el sistema, políticas de concientización sobre la conexión de los VEs a la red e incentivación hacia un uso ecológico de los VEs para lograr un abastecimiento de energía altamente basado en energías renovables pueden impactar favorablemente en las condiciones de operación del sistema de distribución debido al desplazamiento del consumo de energía de los VEs en la zona de valle de demanda, reduciendo la diferencia entre los niveles máximos y mínimos de demanda de potencia, lográndose así un mejor aprovechamiento de los componentes de la red y una mayor capacidad de potencia remanente de la misma tal que permitan la conexión de un mayor número de VEs.

Por último, con la aplicación de un sistema V2G, una inserción de un 10% de VEs, permite cubrir los picos de demanda del sistema, desplazando generación de punta altamente contaminante.

#### Bibliografía

Ángel Rosso, M. (2010). Evaluación del impacto de los vehículos en las redes de distribución. Universidad Pontificia Comillas. Madrid.

CAMMESA. (2012). Anexo 27: reglamentación aplicable a la prestación adicional de la función técnica de transporte de energía eléctrica en el MEM, 1-12.

Andersson, J. (2017). Cars, carbon taxes and CO<sub>2</sub> emissions. London School of Economics and Political Science.

Gustafsson, T. Johansson, A. (2015). Comparison between battery electric vehicles and internal combustion engine vehicles fuels by electrofuels. CHALMERS University of Technology.

Martinez Vicente, D. (2011). El impacto del vehículo eléctrico en la red de distribución. Universitat Politècnica de Catalunya. Cataluña.

INDEC. (2010). Cuadro H13. Total del país. Tamaño medio de los hogares por provincia, según censos nacionales 2001 y 2010.

ADEFA. (2017). Parque Automotor.

Nieuwenhuijsen, M.J. Khreis, H. (2016). Car free cities: Pathway to healthy urban living. Environment International.