

## Impacto de las estaciones de carga para vehículo eléctrico en la curva de carga de la Ciudad de Cuenca

Julio Gómez<sup>1</sup> , Luis González<sup>1,2</sup> , Paula Vide<sup>2</sup> , Natália Gameiro<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril y Av. Loja. Cuenca, Ecuador.

<sup>2</sup> Instituto Politécnico de Leiria Departamento de Engenharia Eletrotécnica, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Leiria, R. Gen. Norton de Matos, 2411-901 Leiria, Portugal.

Autor para correspondencia: luis.gonzalez@ucuenca.edu.ec

Fecha de recepción: 25 de agosto de 2017 - Fecha de aceptación: 29 de septiembre de 2017

### ABSTRACT

This article presents a prospective impact study on the electric demand curve of the residential sector of the city of Cuenca assuming a massification of electric vehicles and the charging stations at domestic level possess an average power of 5.83 kW. Scenarios presenting the connection of different numbers of electric vehicles, corresponding to the penetration level of Ecuador, considering no tariff scheme, a tariff scheme and an intelligent recharge scheme were analyzed. Results reveal that the tariff scheme is efficient for the first years of introduction of the electric vehicle, given battery recharge is shifted to periods of low electric demand. However, when the penetration of electric vehicles increases an intelligent recharge strategy resulting into a distribution with greater uniformity in the low demand period is required.

Keywords: Demand curve, tariff scheme, electric vehicle.

### RESUMEN

El presente artículo presenta un estudio prospectivo sobre la curva de demanda energética del sector residencial de la ciudad de Cuenca, asumiendo una masificación del uso del vehículo eléctrico, y las estaciones de carga a nivel doméstico con una potencia promedio de 5.83 kW. Se analizaron escenarios con diferentes números de vehículos eléctricos conectados según el nivel de penetración de este al medio ecuatoriano, considerando escenarios sin esquema tarifario, con un esquema tarifario y con recarga inteligente. Los resultados revelan que el esquema tarifario es eficiente para los primeros años de introducción del vehículo eléctrico, dado que la recarga de las baterías del vehículo se desplaza a un horario de baja demanda, sin embargo, cuando la penetración de vehículos eléctricos aumenta, se requiere de una estrategia como es la recarga inteligente, que permite tener una distribución con mayor uniformidad en el periodo de demanda baja.

Palabras clave: Curva de demanda, esquema tarifario, vehículo eléctrico.

## 1. INTRODUCCIÓN

El estado ecuatoriano en los últimos años se ha planteado fortalecer el sistema eléctrico nacional, conforme a ello, ha realizado una gran inversión en lo referente al cambio de la matriz energética (ANDES, 2016), cuyo objetivo consiste en producir energía eléctrica con fuentes de generación de energía renovables, las cuales son amigables con el medio ambiente, y por otro lado permite al país tener independencia energética de los derivados de petróleo. De dichos proyectos destacan los denominados proyectos emblemáticos detallados en Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

(2012). El cambio de la matriz energética también abarca la masificación del uso de la energía eléctrica, entorno a ello, se ha llevado a cabo varios proyectos como por ejemplo el cambio de cocinas domésticas, usualmente alimentadas por gas natural de petróleo, por el uso de cocinas alimentadas con energía eléctrica mediante el principio de inducción, para lo cual se ha destinado varios incentivos (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014), permitiendo que sea atractivo para los clientes optar por esta tecnología para realizar las actividades de cocción. Así mismo, se encuentra el plan para remplazar el calentamiento de agua, generalmente realizado por medio de calefón a gas, con equipos que utilizan energía eléctrica (EL COMERCIO, 2014).

Otro programa que se está llevando a cabo es una alternativa en lo que se refiere al transporte, en donde se están realizando incentivos para la adquisición de los vehículos eléctricos (VE) como remplazo de los vehículos de combustión interna, los cuales utilizan para su funcionamiento derivados de petróleo y por tanto son contaminantes. En este aspecto el Ecuador presenta una gran ventaja a la utilización del VE ya que actualmente la generación eléctrica con fuentes de energía renovables alcanza un 87% (CENACE, 2017), contribuyendo así a disminuir la dependencia de energías derivadas de petróleo y desde el aspecto ambiental, reducir la contaminación. Con el fin de incentivar el uso del VE el gobierno ecuatoriano ha realizado una serie de incentivos para motivar al usuario a la compra de los VE, así también ha diseñado un esquema tarifario para realizar la carga de las baterías del VE en donde el objetivo es inducir en el usuario dueño de VE realice la carga en horas de baja demanda, mediante la utilización de tarifa reducida en este periodo (ARCONEL, 2015).

Con la introducción del VE en el medio es lógico pensar que la curva de demanda se verá afectada, con lo que se ve la necesidad de realizar un estudio con el fin de evaluar el nivel de afección y plantear las estrategias a emplear con el fin de minimizar el impacto producido. En Putrus, Suwanapingkarl, Johnston, Bentley, & Narayana (2009) se presenta un estudio en el cual plantean casos para evaluar cómo afecta el ingreso del VE a la curva de carga, en donde se evidencia la necesidad de plantear estrategias que permitan disminuir la utilización en horas críticas de consumo energía eléctrica (picos). De allí se ve la importancia de realizar la gestión de la demanda “Demand Side Management” que es la planificación e implementación de medidas destinadas a influir en el modo de consumir energía con el fin de modificar el perfil de consumo. Con ellas se contribuye a una gestión más eficiente y sostenible del sistema eléctrico (Red Eléctrica de España, 2016).

Las estrategias que se utilizan en la gestión de la demanda las podemos agrupar en dos grupos. La primera consiste en reducir el consumo energético, por ejemplo, con campañas que promuevan al usuario la utilización de equipos con mayor eficiencia energética. La segunda consiste en desplazar el consumo, en esta estrategia se induce al usuario a la utilización de los diferentes equipos en un horario diferente al que está acostumbrado, esto se puede lograr con el uso de esquemas tarifarios, que inducen al usuario cambiar sus hábitos y utilizar los diferentes equipos eléctricos en horarios con tarifas más económicas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realiza de forma experimental, para ello se plantea conocer el comportamiento de la carga típica de una estación de carga de nivel 2, la cual cumple las especificaciones dadas por el estándar IEC 61851 (CIRCUITOR, 2015). Para la determinación de la carga típica, se realiza mediciones de corriente y tensión durante el proceso de carga de un VE. Una vez determinada la carga típica, se realiza la estimación de potencia y energía en el proceso de carga, se plantea evaluar la afectación a la curva de carga del sector residencial de la Ciudad de Cuenca, para ello tomando en cuenta los distintos factores que intervienen en la carga, como son: las costumbres del consumidor, el recorrido del VE, la capacidad de la batería del vehículo, la preferencia de hora en la que se cargue. Estos factores hacen que sea un proceso estocástico, siendo difícil determinar la hora a la que el usuario cargue el vehículo, por lo que se pretende evaluar el peor caso, el cual se da cuando se realiza una carga de forma simultánea. A continuación, se describen los elementos que intervienen en este trabajo.

### 2.1. Estación de carga nivel 2

La estación de carga utilizada es la “AV EVSE-RS 30A EV CHARGING STATION” de marca AeroViroment, disponible en el laboratorio de microrred de la Universidad de Cuenca. Esta estación de carga trabaja con un nivel de voltaje de entrada máximo de 240 V AC, con una corriente máxima de 30 A, a una frecuencia de 50 o 60 Hz, cuenta con un conector j1772 (AeroVironment Inc., 2011), este tipo de estación provee de voltaje y corriente en AC, siendo el vehículo el que realiza el proceso de conversión DC para la carga de las baterías.

### 2.2. Vehículo eléctrico

El laboratorio de microrred de la Universidad de Cuenca también cuenta con VE de la marca Kia modelo Soul EV, el cual es empleado para realizar la estimación de cuánto tiempo toma realizar la carga de las baterías, así como el determinar los niveles de voltaje, corriente y potencia durante este proceso. Este VE cuenta con una batería de polímero de litio con una capacidad de 27 kWh, cuenta con conector J1772 y un conector CHAdeMO utilizado para realizar carga rápida en DC.

### 2.3. Zona geográfica de estudio

Con el fin de evaluar el impacto de la utilización de forma masiva del VE, en la ciudad de Cuenca se utiliza información proporcionada por la Empresa Eléctrica Regional Centrosur (EERCS). Para este estudio se plantea evaluar el impacto en usuarios de zona residencial urbana, con lo que se escoge la subestación No. 3, tomando información de la curva de carga solo de los alimentadores que abastecen de energía a la parte residencial de la ciudad como se indica en la Figura 1.

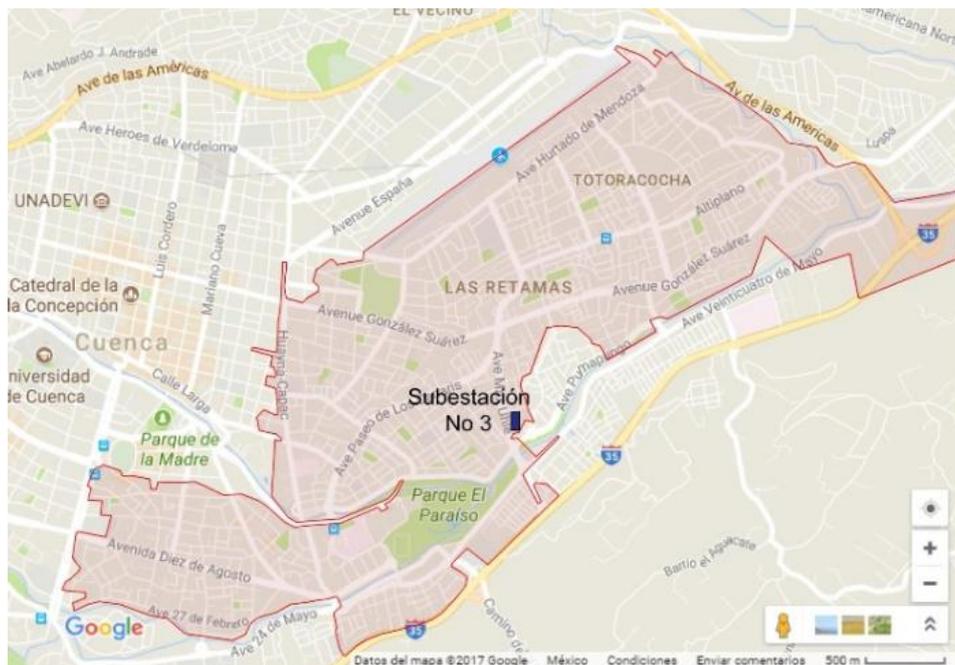


Figura 1. Zona en estudio (usuarios de mayoría residencial).

### 2.4. Caso práctico

Tomando en cuenta que en la ciudad de Cuenca aun no se utiliza el VE de forma masiva y por ello no se puede tener datos que permitan estimar el impacto en la curva de demanda diaria, se plantea 3 escenarios para la evaluación, en estos escenarios se evalúa el peor caso, para ello se toma en consideración que la recarga del VE se realiza en forma simultánea y con la misma duración, además, el número de VE que se cargan se estima mediante proyecciones que realizadas en torno a cuantos VE tendrá la ciudad de Cuenca en diferentes años. Con estos datos se puede observar cómo se modificará

la curva de demanda, y en base a esta se puede observar cómo se mejora con la aplicación de las estrategias de gestión de la demanda.

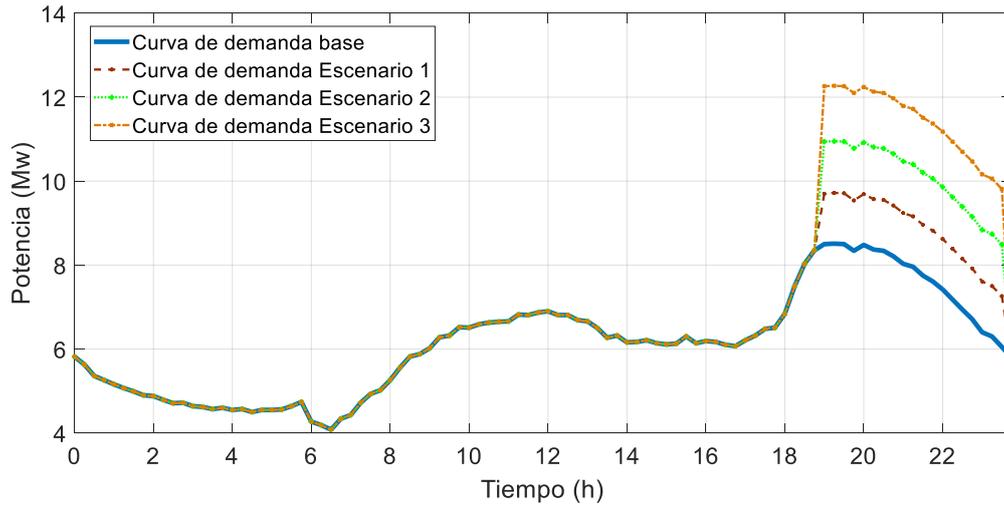
### 3. RESULTADOS

Para determinar la potencia requerida, así como los niveles de voltaje y corriente al cargar las baterías del Kia Soul EV, se procede a realizar la carga del 15% al 100%, teniendo un tiempo aproximado de 4.5 h. Durante el proceso de carga se determina el valor de la corriente, tensión y potencia mediante mediciones con un osciloscopio modelo DPO 4104, con sonda de corriente TCP303 y sonda de tensión P5200A de la marca Tektronix. presentando una potencia promedio 5.83 kW, voltaje de 220 V y 22 A. Se define el caso base, con una curva de demanda diaria típica en la ciudad de Cuenca en un sector en el que predominan los usuarios residenciales. En la Figura 2 se presenta la curva de demanda diaria actual de la subestación No. 3, tomando en cuenta solo la zona urbana. Esta figura revela que el horario donde existe mayor utilización energética (demanda pico) es el comprendido entre las 18:00 y 22:00.

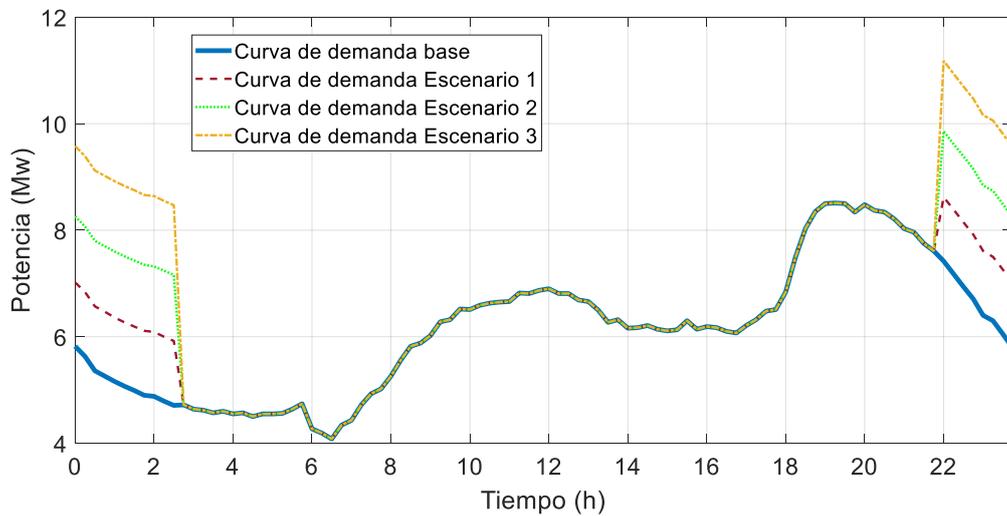
La primera consideración tomada en cuenta se basa en la curva de demanda presenta en la Figura 2, donde se observa a qué hora se empieza a utilizar mayoritariamente la energía eléctrica y podemos asumir que desde esta hora se iniciaría el proceso de carga del VE, ya que, al no tener ninguna restricción de uso, el usuario utilizara según su comodidad. Definiendo así las 19:00 como hora de inicio del proceso de carga. Ya que a esta hora se tendrá usualmente mayor uso tomando en cuenta que se finaliza la jornada laboral y retorno a los hogares, con lo que al llegar a sus respectivos hogares el consumidor conectaría el vehículo a red para realizar el proceso de carga. Otra consideración tomada en cuenta es el número de vehículos que se conectan, para ello se plantea 3 escenarios con diferentes niveles de penetración del VE para diferentes años, basados en un estudio realizado en Vélez Sánchez (2017). Este estudio presenta una proyección de cuantos vehículos se venderían en el Ecuador y que 7% de todos los vehículos eléctricos del país ocurren en la ciudad de Cuenca. Tomando en cuenta que la subestación escogida abastece de energía alrededor del 30% de la población, con lo que se tendría un estimado de 207 usuarios con VE para el escenario 1, 419 VE para el escenario 2 y 654 VE escenario 3. También se considera para el análisis el peor caso, que sería cuando todos los VE se cargan al mismo tiempo.

Para la aplicación de la gestión de la demanda se estudian los 3 escenarios descritos, la primera estrategia de gestión de la demanda que se aplica es la reducción del uso energético, para ello se plantea fomentar el uso de estaciones de carga con mayor eficiencia, para reducir las pérdidas energéticas al realizar la carga, en este aspecto, mediante mediciones de la estación de carga, se determina que tiene un nivel de eficiencia del 87.4%. Con solo la aplicación de esta estrategia, la curva de demanda base se modifica como se presenta en la Figura 2, en donde se puede observar un incremento en las horas pico, además que este incremento se sigue elevando si más VE ingresan en el medio. La masificación de uso del VE es un evento deseado, pero el incremento de la demanda pico es un evento que se debe evitar, debido a la necesidad del ingreso de otras fuentes de generación eléctrica que permitan satisfacer la nueva demanda, con lo que se evidencia la necesidad de plantear restricciones de uso, restricciones que pudiesen ser implementadas, entre otras, mediante un esquema tarifario.

La utilización de un esquema tarifario es una estrategia de gestión de demanda que cumple el objetivo de desplazar el uso energético a un horario de menor demanda. En este aspecto existe un esquema tarifario dado por la Agencia de Regulación y Control de la Electricidad (ARCONEL) en la regulación 038/15, la cual establece los horarios y descuento producido según el horario de demanda. Siendo las horas de menos consumo y por ende con un incentivo de descuento del 50% de la tarifa regular, entre las 22:00 y 8:00, con lo que, al aplicar este esquema, se busca influir en el usuario que cambie sus costumbres de utilizar la energía en la hora pico, y busque ahorro empezado a realizar el proceso de carga a partir de las 22:00. Bajo esta estrategia la curva de demanda se modifica como se observa en la Figura 3.



**Figura 2.** Curva de demanda sin esquema tarifario.



**Figura 3.** Curva de demanda con esquema tarifario.

Como se puede observar en la Figura 3 con la aplicación del sistema tarifario se obtiene una disminución del pico presentado en la Figura 2, pero también se puede observar que con el paso del tiempo, al tener una mayor penetración del VE, específicamente en el escenario 3, se presenta la creación de un nuevo pico a partir de las 22:00, el cual tiene corta duración, con lo que se requiere poner en funcionamiento otras fuentes de generación y a su vez realizar el proceso de detención de las mismas en un tiempo corto, resultando elevación en el costo de producción, por lo que se observa la necesidad de plantear otras estrategias a futuro.

La estrategia de demanda debe cumplir con el objetivo de desplazamiento de la carga. Una alternativa planteada es el utilizar equipos con sistema de retraso, lo cuales empiezan el proceso de carga un tiempo después que el usuario conecta el VE a la estación de carga, con lo que se consigue tener mayor diversificación de la carga. Otra alternativa es la aplicación de la denominada “carga inteligente”, para esto se requiere la utilización de equipos que posean un nivel de comunicaciones elevado, con el fin de permitir tener comunicación entre el usuario y la empresa distribuidora de energía, la cual sería la encargada de recopilar la información de todos los usuarios que desean realizar a carga del VE, así como cuanta energía necesita para realizar la carga y en base a esta información realizar una programación, con el objetivo de distribuir el proceso de carga de todas las estaciones de carga que solicitan carga durante las 8 horas del horario de demanda base, de esta manera se puede obtener una distribución de carga más equilibrada, además de permitir determinar de mejor manera cuanta energía se requiere y en que horarios, permitiendo realizar una planificación de generación de

energía con mayor eficiencia. La aplicación de esta estrategia para los escenarios 1, 2 y 3 se presenta en las Figuras 4, 5 y 6 respectivamente.

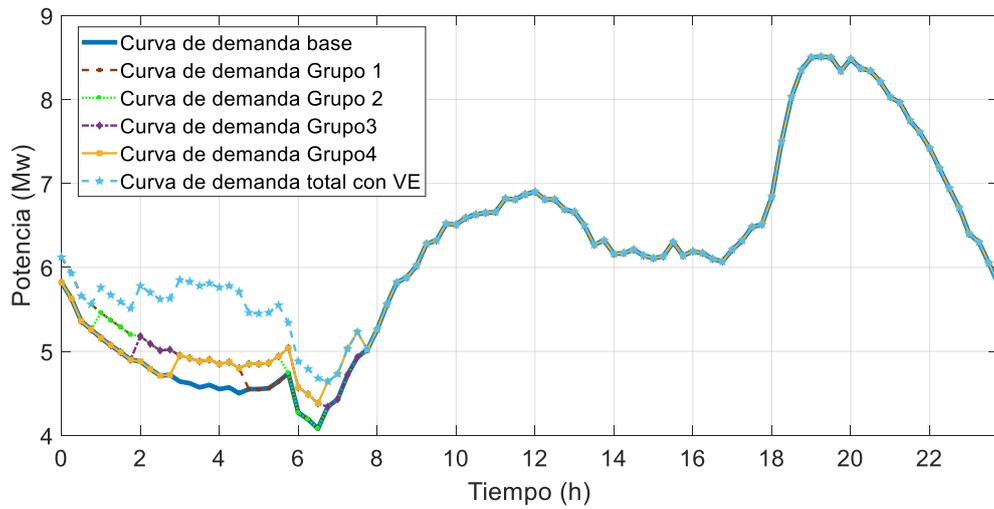


Figura 4. Curva de demanda con carga inteligente (Escenario 1)

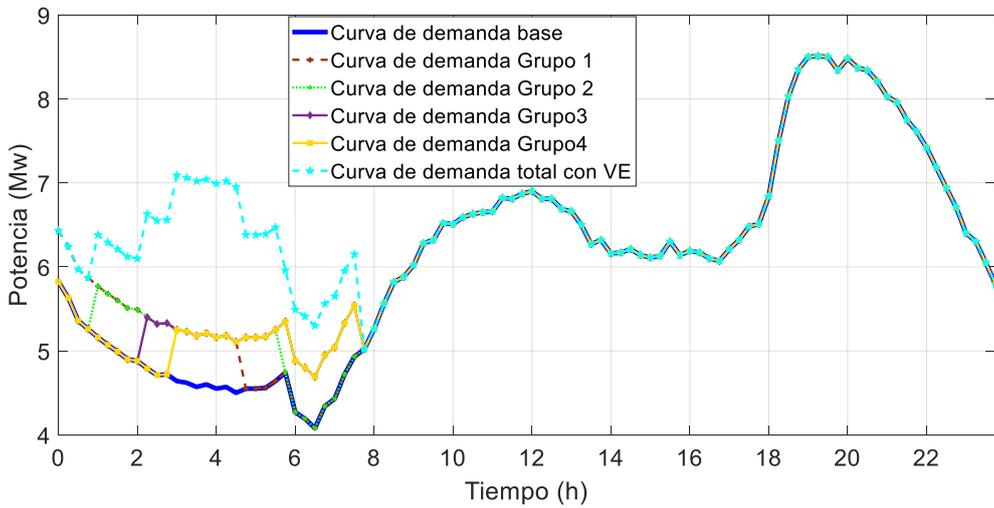


Figura 5. Curva de demanda con carga inteligente (Escenario 2).

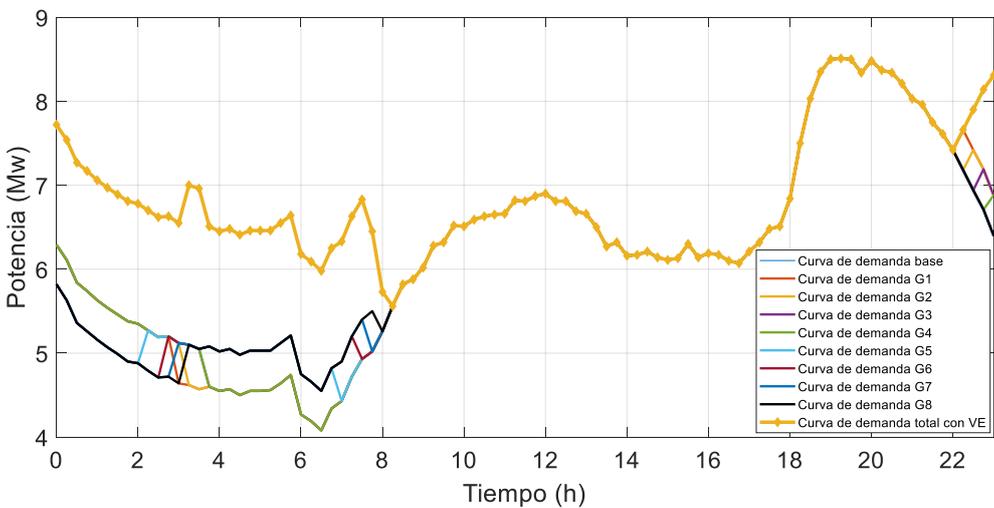


Figura 6. Curva de demanda con carga inteligente (Escenario 3).

Con la carga inteligente se aprecia que se puede conseguir el objetivo de tener una curva de demanda distribuida de mejor manera en el horario de demanda base, permitiendo reducir costos en la producción de energía eléctrica y evitando el arrancar generadores por periodos cortos de funcionamiento.

#### 4. CONCLUSIONES

Con el ingreso del VE a la ciudad de Cuenca se ha analizado el impacto de la curva de carga en el sector residencial, donde las medidas tomadas por parte del sector gubernamental con el uso de un esquema tarifario ayudan a inducir al usuario realizar el proceso de carga en horarios con demanda baja con precios más económicos, sin embargo, se puede ver que de masificar el uso de los VE se requiere una mayor planificación con el uso de carga inteligente, que requiere equipos más costoso que incorporen comunicación con la distribuidora, la cual organiza y planifica el proceso de la carga a lo largo de la franja horaria más económica, obteniendo una distribución de energía a lo largo de este periodo, lo que lleva consigo una mejor planificación en el arranque y un paro de funcionamiento de generadores, permitiendo una generación eficiente.

#### AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) de la República del Ecuador por la beca de cuarto nivel. El segundo autor desea agradecer el apoyo económico al proyecto Prometeo por parte de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) de la República del Ecuador. Los autores agradecen a la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC) y a la Red Ecuatoriana de Universidades para Investigación y Posgrados (REDU) por el apoyo en el proyecto "Más allá del petróleo: Un estudio de la relación entre la forma urbana y el transporte en dos ciudades del Ecuador".

#### REFERENCIAS

- AeroVironment Inc. (2011). *Electric vehicle charging station*. Disponible en <https://www.avinc.com/>
- ANDES. (2016) *El cambio de la matriz energética y la rehabilitación de la red vial marcan un antes y un después en Ecuador*. Disponible en <http://www.andes.info.ec/es/noticias/cambio-matriz-energetica-rehabilitacion-red-vial-marcan-antes-despues-ecuador.html> (accedí el 28 de junio de 2017).
- ARCONEL. (2015). *Resolución no. Arconel-038/15*. Disponible en <http://www.regulacionelectrica.Gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/038.pdf>
- CENACE. (2017). *Información operativa mensual*. Disponible en <http://www.cenace.org.ec/docs/informacionoperativa.htm> (accedí el 1 de junio de 2017).
- CIRCUITOR. (2015). *Modos de carga (iec-61851-1)*. Disponible en <http://circuitor.com/es/formacion/vehiculo-electrico/modos-de-carga-iec-61851-1> (accedí el 16 de mayo de 2017).
- EL COMERCIO. (2014). *Régimen prepara proyecto para reemplazar calefones a gas*. Disponible en <http://www.elcomercio.com/actualidad/plan-gobierno-reemplazo-calefones-gas.html> (accedí el 28 de junio de 2017).
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2012). *Informe de rendición de cuentas 2012*. Disponible en <http://www.energia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/10/7.8-Informe-Rendici%C3%B3n-de-Cuentas-MEER-2012.pdf>
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2014). *Ecuador cambia*. Disponible en

- <http://www.ecuadorcambia.com/> (accedí el 28 de junio de 2017).
- Putrus, G. A., Suwanapingkarl, P., Johnston, D., Bentley, E. C., Narayana, M. (2009). *Impact of electric vehicles on power distribution networks*. 2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, pp. 827-831. doi: 10.1109/vppc.2009.5289760
- Red Eléctrica de España. (2016). *Gestión de demanda*. Disponible en <http://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/gestion-de-demanda> (accedí el 14 de junio de 2017).
- Vélez Sánchez, J. G. (2017). *Análisis y estimación de la demanda eléctrica con la implementación de vehículos eléctricos conectados a una red de distribución en Cuenca y el Ecuador*. Universidad de Cuenca. Disponible en [http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27353/1/trabajo de titulacion.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27353/1/trabajo_de_titulacion.pdf)