



Strategy for Charging Electric Vehicles in Office Buildings

Andrés Alfonso Rodríguez, Luis Eduardo Perdomo Orjuela,
Francisco Santamaria and Sergio Raul Rivera Rodriguez

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

December 31, 2019

Strategy for charging electric vehicles in office buildings

Andrés Alfonso Rodríguez
Grupo de compatibilidad
electromagnetica
Universidad nacional de
Colombia
Bogotá, Colombia
aalfonsor@unal.edu.co

Luis E. Perdomo Orjuela
Grupo de compatibilidad
electromagnetica
Universidad Nacional de
Colombia
Bogotá, Colombia
leperdomoo@udistrital.edu.co

Francisco Santamaria
Grupo de compatibilidad e
interferencia electromagnetica
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas
Bogotá, Colombia
fsantamariap@udistrital.edu.co

Sergio R. Rivera Rodríguez
Grupo de compatibilidad
electromagnetica
Universidad Nacional de
Colombia
Bogotá, Colombia
sriverar@unal.edu.co

Abstract—The circulation of electric vehicles will increase exponentially in the coming years. The buildings are points of high concentration of these vehicles. For this reason, it is necessary to develop a management strategy for recharging these vehicles, in order to optimize the parking space and existing electrical installations.

The displacement of the load envisions as one of the best strategies for load management because it allows optimize existing networks, reducing or shifting investment over time.

This article proposes a management strategy and presents the benefits of its implementation.

Resumen— La circulación de vehículos eléctricos aumentará exponencialmente en los próximos años. Los edificios de oficinas son puntos de alta concentración de estos vehículos. Por este motivo, es necesario desarrollar una estrategia de gestión para su recarga, a fin de optimizar el espacio de estacionamiento y las instalaciones eléctricas existentes.

El desplazamiento de la carga se visualiza como una de las mejores estrategias para la gestión de la recarga, porque permite optimizar las redes existentes, reduciendo o desplazando la inversión a lo largo del tiempo.

Este artículo propone una estrategia de gestión y presenta los beneficios de su implementación.

Keywords—Estrategia de gestión de carga, Respuesta a la demanda, algoritmo entero binario.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales inconvenientes frente una alta penetración de la tecnología de vehículos eléctricos en el país es la falta de estaciones de recarga y la adaptación de la red eléctrica. [1] De allí la importancia de optimizar la red eléctrica existente y los espacios de parqueo de vehículos.

La respuesta a la demanda es una de las características más importantes de la red eléctrica y más aún para las redes del futuro [2], [3]. La penetración de vehículos eléctricos es cada vez mayor en el mercado global y sus características de flexibilidad

en la gestión de la energía proveen una excelente característica para la respuesta a la demanda [4], [5].

Los edificios de oficinas son puntos de alta concentración de vehículos, los cuales en el futuro serán eléctricos. Debido a esto, es necesario disponer de áreas de parqueo para el servicio de recarga de vehículos. Esto plantea desafíos tanto para la administración de estos edificios, como para los operadores de red, ya que la infraestructura existente podría resultar insuficiente y generase problemas de calidad de energía y potencia[6], [7].

Debido a esto, se hace necesario disponer de una herramienta que gestione la recarga de los vehículos para aprovechar la infraestructura eléctrica y de parqueo existente en los edificios de oficinas. Esto permitirá que la penetración de vehículos eléctricos en el mercado local aumente y el uso de la infraestructura existente sea más eficiente.

II. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

A. Identificación del problema

Alrededor del mundo, el interés por los vehículos eléctricos ha crecido a tal punto que se espera un aumento exponencial de la cantidad de vehículos eléctricos rodando en las calles durante los próximos 20 años [8].

Este crecimiento genera una alta necesidad de espacios tanto de parqueo como de recarga. En la actualidad se cuenta con espacios, como los edificios de oficinas donde se concentra una gran cantidad de vehículos. Este espacio deberá ser gestionado para el parqueo y recarga de vehículos eléctricos. Por lo tanto, el problema planteado para una estrategia de gestión es optimizar el espacio de parqueo y la infraestructura eléctrica con la que cuentan estos edificios.

B. Algoritmo de gestión de recarga

Uno de los enfoques de eficiencia energética es la gestión de la energía [9]–[11], la cual consiste en un conjunto de acciones orientadas a asegurar el suministro energético a través de la implementación de medidas para mejorar el desempeño energético de las cargas [12], la generación distribuida de energía [13] y la respuesta de la demanda. [14], [15]

La respuesta de la demanda consiste en cambios en el consumo de energía eléctrica por parte del usuario final, con respecto a un patrón usual de consumo, en respuesta a señales de precios o incentivos diseñados para inducir bajos consumos [16].

Desde el enfoque de redes de distribución de energía eléctrica, la gestión de la demanda (en inglés demand - side management DSM) es una de las soluciones que no requieren modificar la red, para hacer un uso más eficiente de la misma. DSM es la planificación, implementación y evaluación de las actividades diseñadas para lograr modificar los patrones de consumo de los usuarios con respecto al tiempo, el nivel de demanda (kW) y la energía (kWh) [17].

El desplazamiento de carga es uno de los principales métodos de DSM que influye actualmente en la demanda de los consumidores de electricidad [17]. Éste consiste en el desplazamiento de la carga desde los periodos pico a los periodos fuera de pico, como se observa en Fig. 1.

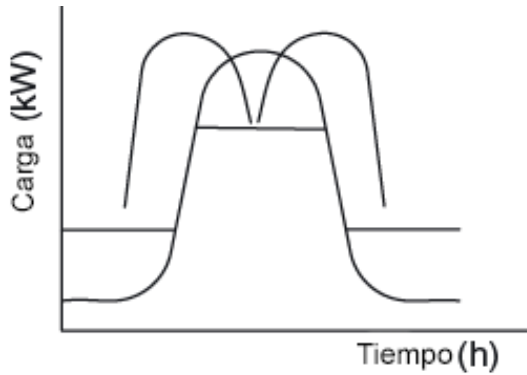


Fig. 1. Metodología de desplazamiento de carga. [17]

III. ESTRATEGIA

A. Metodología de cambio de problema

La metodología consiste en cambiar un problema de despacho de potencia económico por uno de asignación óptima. Para realizar esta consideración se toma en cuenta que cada parqueadero tiene la posibilidad de realizar una recarga semi-rápida (32 A en 4 h al 100% de carga) [18][19]. El tiempo de recarga requerido por cada vehículo se calcula en (1).

$$\text{Tiempo de recarga} = \frac{\text{Energía requerida}}{\text{Potencia de carga}} \quad (1)$$

Adicionalmente, es necesario conocer el tiempo reservado de parqueadero para cada vehículo, el cual consiste en el tiempo que el vehículo deberá permanecer en el parqueadero, el cual es definido al momento de ingreso al parqueadero y finaliza antes o al llegar a un máximo establecido. Esta información permite establecer el momento más conveniente para comenzar la recarga de cada vehículo, teniendo en cuenta que la recarga debe ser continua y solo se puede iniciar una sola vez durante el periodo de parqueo.

B. Algoritmo de gestión de recarga

El objetivo del algoritmo es desplazar el inicio de la recarga del vehículo lo más cerca posible del momento de finalización de reserva del parqueadero, alcanzando el máximo de carga del vehículo y manteniendo hora a hora los límites máximos de potencia disponible. La Fig. 2 ilustra el proceso.

El problema se trata como un problema de asignación, donde se busca maximizar la función F , la cual es la resultante de la suma de los productos de la matriz de pesos por la matriz binaria de asignación como se evidencia en (4).

La matriz X_{ij} se construye de manera iterativa respectado las restricciones (5) y (6), las cuales limitan la cantidad de potencia disponible por hora Z_j y la energía mínima requerida por vehículo T_i .

La matriz de pesos P_{ij} consiste en asignar un peso a cada hora de recarga en función de la hora de salida. Cuanto más cerca está la hora de salida más peso tiene esta posición en la matriz, con el fin de trasladar el inicio de la recarga del vehículo lo más cerca posible de la hora de salida del parqueadero.

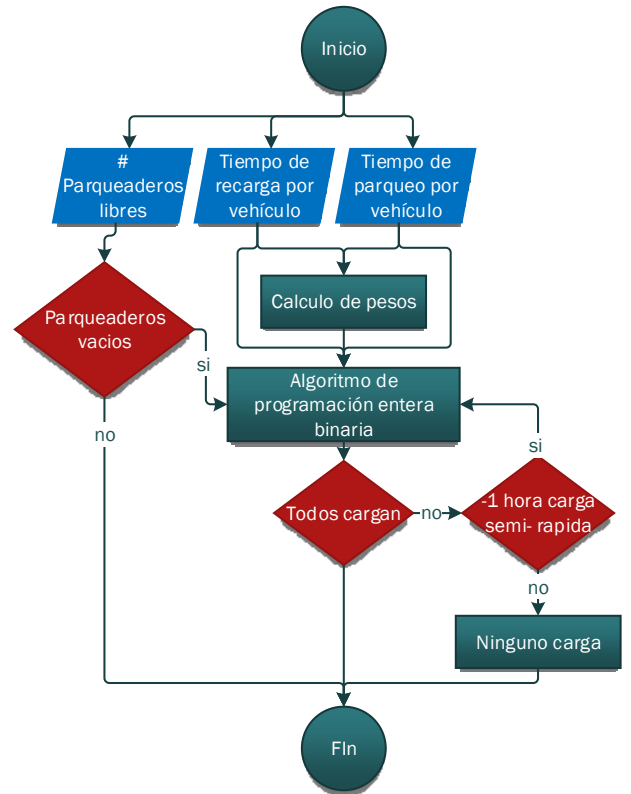


Fig. 2. Diagrama de flujo de estrategia de gestión propuesta.

El cálculo de P_{ij} se realiza con (2), donde i corresponde al parqueadero y j a la hora de recarga. T_i es el tiempo durante el cual el vehículo debe ser cargado para alcanzar 100% de recarga, Z_j corresponde a la cantidad máxima de parqueaderos a los que se les puede habilitar recarga en la hora j , M_i es el tiempo durante el cual está el vehículo en el estacionamiento y X_{ij} es la matriz de asignación binaria.

$$P_{ij} = \begin{cases} (T_{ij} + j)/M_i, & (T_{ij} + j)/M_i \leq 1 \\ 1, & T_{ij} - M_i \geq 0 \\ -(n * m), & T_{ij} - M_i < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$P_{ij} = (T_{ij} + j)/M_i \quad (3)$$

$$\max(F) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij} * P_{ij} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = T_i \quad \forall j \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} \leq Z_j \quad \forall j \quad (6)$$

Aplicando un algoritmo de programación entera binaria modificado, se asigna un valor de 0 o 1 que maximice la función objetivo F, teniendo en cuenta las restricciones de energía requerida por vehículo y potencia máxima disponible hora a hora.

Durante el proceso iterativo el algoritmo coloca 1 en las posiciones de la matriz que maximizan la función y que cumplen la restricción de energía requerida por el vehículo, como se observa en la Fig. 3, donde las líneas rojas muestran que el algoritmo inicia cumpliendo la restricción horizontal (5), relacionada con la cantidad de tiempo de recarga por cada parqueadero.

La Fig. 4 presenta un ejemplo para once parqueaderos, ocho horas de parqueo y una cantidad aleatoria entre 1 y 4 de horas de recarga requerida por vehículo. Como se observa el algoritmo coloca 1 en las posiciones de la matriz que maximizan la función.

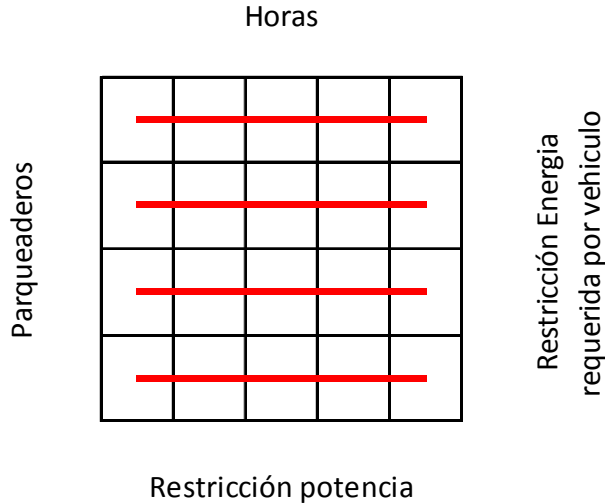


Fig. 3. Restricción de energía requerida por vehículo.

Posteriormente, el algoritmo valida que se cumplan las restricciones de potencia disponible hora a hora, es decir la cantidad de parqueaderos a los cuales es posible habilitar la recarga (6), tal como se ejemplifica con las líneas rojas en Fig. 5, donde se puede observar que esta restricción se evalúa sumando los valores de cada columna de la matriz.

	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
2	1	0	0	0	0	0	0	0	1
3	1	1	1	1	0	0	0	0	4
4	0	0	0	0	1	1	1	1	4
5	1	1	1	1	0	0	0	0	4
6	0	1	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	1	0	0	1
8	0	1	1	1	1	0	0	0	4
9	0	0	0	0	1	0	0	0	1
10	0	0	1	0	0	0	0	0	1
11	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	5	4	1	3	6	7	7	2	

Fig. 4. Matriz de asignación binaria.

Si esta restricción no se cumple, se procede a buscar las horas de salida coincidentes con las horas donde no se cumple esta restricción y se adelanta un periodo de tiempo el inicio de la recarga; siempre validando que se alcance la carga requerida.

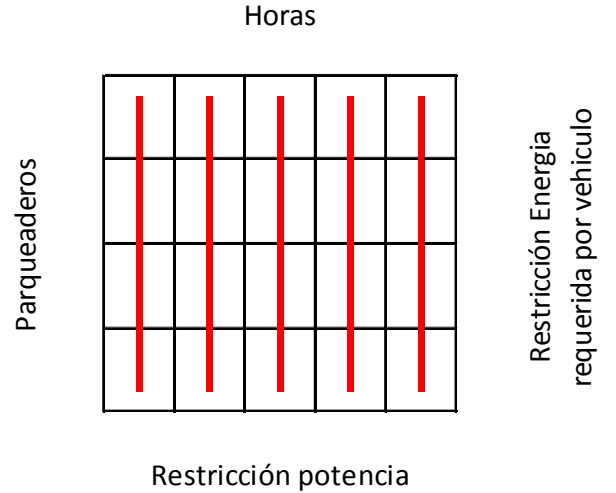


Fig. 5. Restricción de potencia disponible

El algoritmo finalmente determina las horas de inicio de recarga de cada vehículo cumpliendo todas las restricciones e inicia la carga de aquellos a los cuales sea posible recargar.

IV. RESULTADOS

El algoritmo busca desplazar la mayor cantidad de recarga a los tiempos de salida del parqueadero de cada vehículo, respetando las restricciones de carga mínima del vehículo, potencia disponible hora a hora y hora de salida del vehículo del parqueadero.

La Tabla I y Tabla II presenta los datos de entrada para la estrategia de gestión, los cuales se obtuvieron aplicando un algoritmo de generación de números aleatorios en un rango 1 a 4 para el tiempo de carga por vehículo y de 1 a 8 para el tiempo de tiempo de parqueo por vehículo.

TABLA I. TIEMPOS DE CARGA Y PARQUEO

Vehículo	Tiempo carga	Tiempo parqueadero
1	1	6
2	1	1
3	4	4
4	4	8
5	4	4
6	1	2
7	1	6
8	4	5
9	1	5
10	1	3
11	1	1

TABLA II. TIEMPOS DE CARGA Y PARQUEO

Periodo de tiempo	Potencia disponible	Potencia requerida
1	0,2857	0,7143
2	0,4286	0,2857
3	0,2857	0,4286
4	0,5714	0,1429
5	0,4286	0,4286
6	0,2857	0,7143
7	0,5714	0,4286
8	0,2857	0,0000

La Fig. 6 presenta el comportamiento para los datos de entrada de la Tabla I y Tabla II sin aplicar la estrategia de gestión e iniciando la recarga de los vehículos en el preciso momento que ingresan al parqueadero. Como se puede identificar la potencia de recarga necesaria en el periodo de tiempo actual excede a la disponible, violando las restricciones del problema.

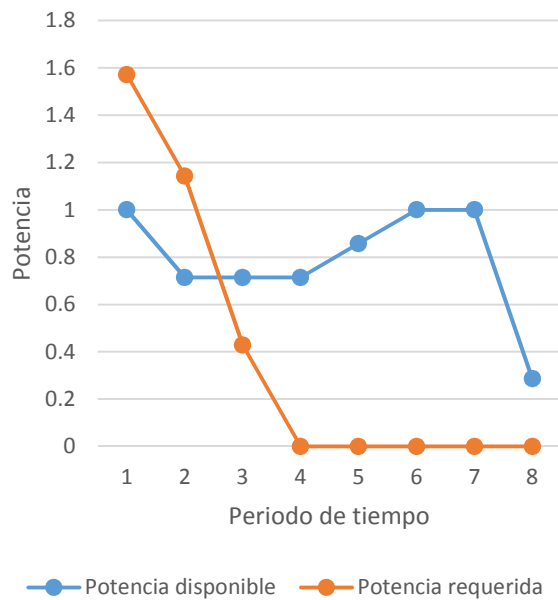


Fig. 6. Comportamiento sin estrategia de gestión.

La Fig. 7 presenta el resultado de aplicar una estrategia de gestión enfocada en respetar las restricciones del problema, pero iniciando la recarga del vehículo lo mas próxima posible al momento actual. Como se puede observar se disminuye la diferencia entre la potencia disponible y la requerida para los tiempos cercanos al momento actual.

Este comportamiento impide disponer de energía para la recarga de vehículos en el periodo actual (Periodo 1), no homogeniza la curva de carga y presenta periodos de tiempo con demanda de potencia pico y valle bien marcados.

Adicionalmente, el algoritmo se concentra en cumplir con la restricción de potencia disponible hora a hora y deja en segundo plano la cantidad de parqueaderos vacíos. Esto genera impide aprovechar los espacios vacíos para más vehículos en el periodo de tiempo 1 que puedan requerir menos tiempo de carga, incluso tan solo un periodo de carga.

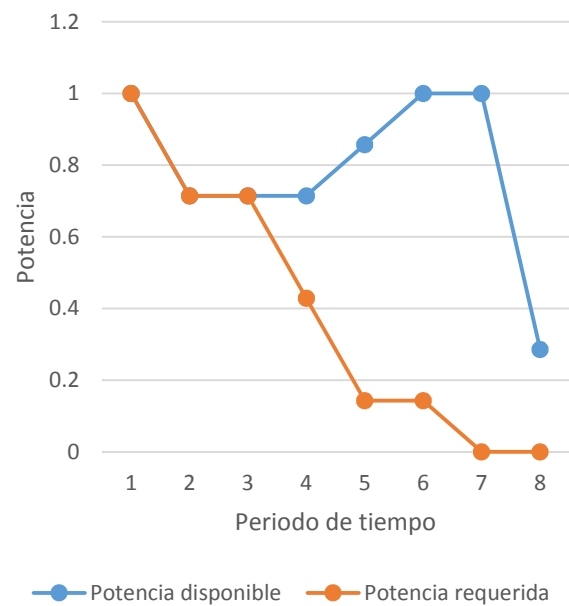


Fig. 7. Comportamiento estrategia de gestión iniciado carga en el momento más proximo al ingreso al parqueadero.

En la Fig. 8 se observa el resultado de aplicar la estrategia de gestión propuesta en este trabajo. Tal como se observa la curva de potencia requerida hora a hora es más homogénea y la recarga del vehículo se desplaza lo máximo posible a la hora de salida del parqueadero. Esto permite disponer de una mayor cantidad de energía para recargar más vehículos en el periodo de tiempo actual, ayudando a maximizar el uso del espacio de parqueo, aprovechando las necesidades de recarga rápida de vehículos circundantes a la edificación.

Por otra parte, no se observan periodos de demanda de potencia pico y valle marcados, lo cual permite aprovechar de mejor manera la infraestructura eléctrica existente, postergar inversiones y optimizar el uso del terreno destinado a parqueaderos de vehículos.

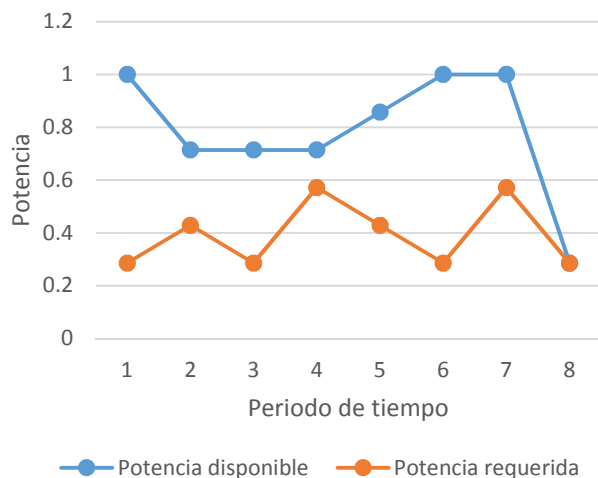


Fig. 8. Comportamiento de esquema propuesto de gestión de recarga.

V. CONCLUSIONES

El desplazamiento de la carga es una buena estrategia de gestión debido a que permite distribuir de una manera mas uniforme la carga, disminuyendo los periodos pico y valle.

El planteamiento del problema como un problema de asignación y no de despacho económico, permite simplificar los algoritmos de cálculo y considera el espacio de parqueo dentro de la estrategia.

Desplazar el inicio de la recarga de vehículos lo más próximo posible a la hora de salida de los vehículos del parqueadero permite disponer en los momentos de tiempo presente y mas cercanos de potencia para recarga más vehículos eléctricos.

REFERENCIAS

- [1] G. tecnico proyecto BID, "Smart Grids Colombia vision 2030," *Smart Grids Colomb. Vis. 2030*, p. 81, 2016.
- [2] N. Yu, T. Wei, and Q. Zhu, "From passive demand response to proactive demand participation," in *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, 2015.
- [3] V. C. J. Sankar, V. Hareesh, and M. G. Nair, "Integration of demand response with prioritized load optimization for multiple homes," in *Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Technological Advancements in Power and Energy: Exploring Energy Solutions for an Intelligent Power Grid, TAP Energy 2017*, 2018.
- [4] F. Kong and X. Liu, "Distributed Deadline and Renewable Aware Electric Vehicle Demand Response in the Smart Grid," in *2015 IEEE Real-Time Systems Symposium*, 2015, pp. 23–32.
- [5] Li Hui-ling, Bai Xiao-min, and Tan Wen, "Impacts of plug-in hybrid electric vehicles charging on distribution grid and smart charging," in *2012 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, 2012, pp. 1–5.
- [6] C. Zhang, C. Chen, J. Sun, P. Zheng, X. Lin, and Z. Bo, "Impacts of electric vehicles on the transient voltage stability of distribution network and the study of improvement measures," in *2014 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, 2014, pp. 1–6.
- [7] A. G. Neagoe-Stefana, A. C. Neagoe, and A. C. Mandis, "Impact of charging electric vehicles in residential grid on the power losses and voltage plan," in *2014 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE)*, 2014, pp. 1–4.
- [8] G. Mauri and A. Valsecchi, "Fast charging stations for electric vehicle: The impact on the mv distribution grids of the milan metropolitan area," in *2012 IEEE International Energy Conference and Exhibition (ENERGYCON)*, 2012, pp. 1055–1059.
- [9] J. Arévalo Bonilla, F. Santos, and S. Rivera, "Uncertainty cost functions for solar photovoltaic generation, wind energy generation, and plug-in electric vehicles: mathematical expected value and verification by Monte Carlo simulation," *Int. J. Power Energy Convers.*, vol. 10, pp. 171–207, Mar. 2019.
- [10] C. Baron and S. Rivera, "Mono-objective minimization of operation cost for a microgrid with renewable power generation, energy storage and electric vehicles," *Rev. Int. Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ing.*, vol. 35, pp. 20–36, Jun. 2019.
- [11] A. Peña Acosta, D. F. Romero Quete, and S. Rivera, "Generation and Demand Scheduling in a Micro-grid with Battery-based Storage Systems, Hybrid Renewable Systems and Electric Vehicle Aggregators," *WSEAS Trans. Power Syst.*, vol. 14, pp. 8–23, Apr. 2019.
- [12] Subdirección de Demanda, "Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima en Colombia Revisión Octubre de 2015," 2015.
- [13] P. Chiradeja, "Benefit of Distributed Generation: A Line Loss Reduction Analysis," in *2005 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific*, 2005, pp. 1–5.
- [14] D. Zhao, Y. Li, and Y. Liu, "Optimal design and sensitive analysis of distributed generation system with renewable energy sources," in *2014 China International Conference on Electricity Distribution (CICED)*, 2014, pp. 456–460.
- [15] M. Zeng, K. Tian, C. Li, and N. Li, "Method of Capacity Compensation for Independent Distributed Generation in Distribution Network within the Context of Smart Grid," in *2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, 2010, pp. 1–5.
- [16] Congreso de Colombia, "Ley N° 1715 del 13 de mayo de 2014," *Upme*, no. May, p. 26, 2014.
- [17] A. A. Sallam and O. P. Malik, "Demand-Side Management and Energy Efficiency," in *Electric Distribution Systems*, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2011, pp. 433–468.
- [18] Endesa, "No Title," *Tipos de recarga*, 2017. [Online]. Available: <https://endesavehiculoelectrico.com/recarga/tipos-de-recarga/>.
- [19] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, "Plug-In Electric Vehicle Handbook for Public Charging Station Hosts," 2012.