



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN

**GESTIÓN DE DEMANDA PARA EL SISTEMA DE CARGA DE
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL**

PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del título de:

Ingeniero en Electricidad

Presentado por:

Kevin Rolando Jaramillo Ochoa

Joshua Luis Martillo Granados

Supervisado por:

Msc. Johnny Wladimir Rengifo Santana

GUAYAQUIL-ECUADOR

AÑO: 2020

DEDICATORIA

*A las personas que ya no están en este plano. A quienes admiro mucho y a los que me acompañaron
en este camino. ¡Auguri!*

Joshua Luis Martillo

Al amor, la familia y los sueños

Kevin Jaramillo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los profesores por llenar mi ser de conocimiento y valores, a mi familia por ser un ejemplo de esfuerzo y superación, a mis amigos por inspirarme a querer más sin dejar de apreciar lo que ya tengo, a mi novia por su amor, mi soporte y mi motivo para siempre seguir creciendo y a la vida por permitirme tenerlos.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Kevin Rolando Jaramillo Ochoa y Joshua Luis Martillo Granados damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Kevin Rolando Jaramillo Ochoa



Firmado electrónicamente por:
**JOSHUA LUIS
MARTILLO
GRANADOS**

Joshua Luis Martillo Granados

EVALUADORES

PhD. Renán Zambrano Aragundi
Profesor de la materia

Msc. Johnny Wladimir Rengifo Santana
Profesor tutor

RESUMEN

Este trabajo propone un algoritmo para la gestión óptima de la demanda de los vehículos eléctricos en el sistema eléctrico que permita aplanar la curva de demanda neta diaria. Esta estrategia administra la interacción entre los vehículos eléctricos y la red (V2G), formulando restricciones que permitan el análisis del impacto producto de los vehículos eléctricos conectados en el sistema eléctrico. Los resultados de la simulación para cuatro escenarios propuestos, demuestran un aplanamiento alto al forzar al sistema a obtener una curva de demanda con picos y valles menos pronunciados trabajando con el SOC al mínimo, gracias al método de optimización por enjambre de partículas que encuentra eficientemente el resultado óptimo para cada escenario mas sin embargo, se requiere aprovechar más las horas valles debido a que los vehículos eléctricos aún no alcanzan valores importantes para generar un impacto en los sistemas eléctricos. Un mejor rendimiento en un sistema V2G se obtiene ubicando centro de cargas en lugares estratégicos donde los vehículos estén en constante recarga como centros comerciales, edificios administrativos, urbanizaciones.

Palabras Clave: V2G,G2V, DSM, Matlab, Gestión de demanda, Vehículos eléctricos.

ABSTRACT

This work proposes an algorithm for the optimal management of the demand of electric vehicles in the electrical system that allows to flatten the daily net demand curve. This strategy manages the interaction between electric vehicles and the grid (V2G), formulating restrictions that allow the analysis of the impact produced by electric vehicles connected to the electrical system. The simulation results for four proposed scenarios demonstrate a high flattening by forcing the system to obtain a demand curve with less pronounced peaks and valleys working with the SOC at a minimum, thanks to the particle swarm optimization method that efficiently finds the Optimal result for each scenario but, however, it is necessary to take more advantage of the trough hours because electric vehicles have not yet reached important values to generate an impact on electrical systems. Better performance in a V2G system is obtained by locating load centers in strategic places where vehicles are constantly recharging such as shopping centers, administrative buildings, urbanizations.

Keywords: G2V,V2G, DSM, Matlab, Demand side management, Electric vehicle.

Índice general

Evaluadores	1
RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABLAS	VI
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA	VIII
1. PLANTEAMIENTO Y ESTRUCTURA DEL PROYECTO INTEGRADOR	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Justificación del problema	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Tipología de los vehículos	4
1.4.1. Vehículos Eléctricos (VE):	4
1.4.2. Vehículos con motores de combustión interna (ICE)	4
1.4.3. Vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV)	5
1.5. Tipos de recarga	6

1.5.1.	Recarga super-lenta:	6
1.5.2.	Recarga lenta:	6
1.5.3.	Recarga semi-rápida:	7
1.5.4.	Recarga rápida:	7
1.5.5.	Recarga super-rápida:	7
1.5.6.	Recarga ultra-rápida:	7
1.6.	Modos de carga	7
1.6.1.	Modo 1:	7
1.6.2.	Modo 2:	8
1.6.3.	Modo 3:	8
1.6.4.	Modo 4:	8
1.7.	Gestión desde el lado de la demanda	8
1.7.1.	Aplanado del pico:	8
1.7.2.	Llenado de valle	9
1.8.	Estrategias	9
1.9.	Optimización de Enjambre de partículas	9
2.	Formulación del problema de optimización V2G	13
2.1.	Formulación de la función objetivo	13
2.2.	Restricciones	14
2.3.	Curva objetivo	16
2.4.	Solución de la Metodología	16
3.	Análisis de escenarios con distinto impacto de ev´s y diferente aplanamiento de curva	19
3.1.	Escenario 1: Aplanamiento:40 %, Impacto de carga: 15 %	19
3.2.	Escenario 2: Aplanamiento:20 %, Impacto de carga: 5 %	22
3.3.	Escenario 3: Aplanamiento:10 %, Impacto de carga: 1 %	25
3.4.	Escenario 4: Curva Objetivo no tan plana - Aplanamiento:10 % Im- pacto de carga: 15 %	27
3.5.	Comparación entre Escenarios Propuestos y Curva Real	28
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	30

Índice de figuras

1.1. Esquema de vehículo eléctrico	4
1.2. Esquema de vehículo con ICE	5
1.3. Esquema de vehículo PHEV	6
1.4. PSO: Diagrama de Flujo	11
2.1. Ingreso y Salida de VE de las centrales inteligentes	15
2.2. Algoritmo para determinar curva objetivo por V2G	17
3.1. Escenario 1: Curva Real-Objetivo-Resultado vs Tiempo	20
3.2. Escenario 1: V2G - G2V	20
3.3. Escenario 2: Curva Real-Objetivo-Resultado vs Tiempo	22
3.4. Escenario 2: V2G - G2V	23
3.5. Escenario 3: Curva Real-Objetivo-Resultado vs Tiempo	25
3.6. Escenario 4: Curva Real-Objetivo-Resultado vs Tiempo	27
3.7. Comparación entre la curva real vs curvas objetivo optimizadas	29

Índice de tablas

1.1. Cargos tarifarios para vehículos eléctricos	2
2.1. DISPONIBILIDAD DE POTENCIA DE VEHÍCULOS PARA CARGA Y DESCARGA EN EL SISTEMA V2G	15
3.1. COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE POTENCIA DE PICO Y VALLE DE LA CURVA ACTUAL, OBJETIVO Y RESULTADO: ESCENARIO 1 . . .	21
3.2. COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE POTENCIA DE PICO Y VALLE DE LA CURVA ACTUAL, OBJETIVO Y RESULTADO: ESCENARIO 2 . . .	24
3.3. COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE POTENCIA DE PICO Y VALLE DE LA CURVA ACTUAL, OBJETIVO Y RESULTADO: ESCENARIO 3 . . .	26
3.4. COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE POTENCIA DE PICO Y VALLE ANTES Y DESPUÉS DEL APLANAMIENTO: ESCENARIO 4	28

ABREVIATURAS

DSM Gestión de demanda

SIMBOLOGÍA

- Ω_b - Conjunto de barras existentes en el sistema.
- Ω_l - Conjunto de líneas existentes en el sistema.
- r_{km} - Resistencia eléctrica en serie entre las barras k y m .
- x_{km} - Reactancia eléctrica en serie entre las barras k y m .
- b_{km} - Susceptancia eléctrica en paralelo entre las barras k y m .
- z_{km} - Impedancia eléctrica en serie entre las barras k y m .
- G_{km} - Conductancia equivalente conectada entre las barras k y m .
- B_{km} - Susceptancia equivalente conectada entre las barras k y m .
- n - Número total de barras.
- Y_{bus} - Matriz admitancia de Flujo de Carga.
- V_k - Magnitud de voltaje en la barra k .
- θ_k - Ángulo de fase del voltaje en la barra k .
- P_{gk} - Potencia activa generada en la barra k .
- Q_{gk} - Potencia reactiva generada en la barra k .
- P_{km} - Potencia activa de la barra k a la barra m .
- Q_{km} - Potencia reactiva de la barra k a la barra m .
- Q_k^{sh} - Potencia reactiva shunt en la barra k .
- θ_k - Ángulo en la barra k .
- a_{km} - Tap del transformador entre la barra k a la barra m .
- $y_{s_{km}}$ - Admitancia serie entre la barra k a la barra m .
- $b_{c_{km}}$ - Susceptancia paralelo entre la barra k a la barra m .
- $Y_{BUS_{km}}$ - Matriz de admitancias del sistema.
- $ratio_{km}$ - Relación de vueltas en los transformadores

Capítulo 1

PLANTEAMIENTO Y ESTRUCTURA DEL PROYECTO INTEGRADOR

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del problema

Un vehículo eléctrico, al momento de cargar, no representan mayor impacto en la demanda total de una ciudad. Pero al hablar de grandes volúmenes de vehículos, estos problemas aparecen. Ocurren debido a que no existe una gestión que maneje esta nueva carga generada por vehículos eléctricos.

Según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) se han vendido en estos últimos años, desde el 2018 hasta octubre del 2020, un total de 305 vehículos eléctricos mientras que las ventas anuales de los híbridos ascienden en 4980 vehículos. Se estima que para el 2025, Ecuador posea alrededor de 15000 vehículos eléctricos basado en incentivos económicos y en la matriz energética del país. [1]

Con el fin de incentivar el incremento de vehículos eléctricos, el gobierno del Ecuador exonera del pago del IVA a los compradores si el valor no excede los \$35000, eliminándolo también de la lista del impuesto a consumos especiales (ICE). Por parte de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad se establecen los cargos tarifarios correspondientes a los vehículos eléctricos. [2]

Tabla 1.1: Cargos tarifarios para vehículos eléctricos

	Vehículos Eléctricos		
	Demanda	Energía	Comercialización
	[USD kwh-mes]	[USD-kwh]	[USD/Consumidor]
L-V 8:00 hasta 18:00 horas	4.050	0.08	1.414
L-D 18:00 hasta 22:00 horas		0.10	
L-D 22:00 hasta 08:00 horas		0.05	
S-D 06:00 hasta 18:00 horas			

La Asamblea Nacional Constituyente dispuso cambios en la Ley Orgánica de Eficiencia Energética, en el artículo 14 determina que desde el año 2025, los vehículos que formen parte del transporte público urbano e interparroquial deberán ser eléctricos únicamente. Para la región Insular esta disposición será evaluada por el CNEE. [3]

En Guayaquil el servicio de recarga eléctrica se ha implementados en centros comerciales como San Marino, Mall del Sol y City Mall. Además, hay puntos de recargas privados como la agencia KIA Motors ubicada frente al hotel Hilton Colón, y la propia electrolinera de carga rápida situada en el parque Samanes.

Según el Plan Maestro de Electrificación, la ciudad de Guayaquil utiliza alrededor de 9-18 % de la demanda total nacional. El ingreso de vehículos eléctricos al parque automotor, representa un impacto negativo al sistema de energía, ya que es una carga recién agregada a una red que posiblemente se sature.

1.2. Justificación del problema

Ventajas tales como reducción de contaminación y ruido, hay que tener en cuenta que a medida que la carga de vehículos incrementa, la curva de demanda también, y esta

puede resultar alterada provocando cierres y reinicios frecuentes en el servicio eléctrico. Por esta razón se busca encontrar una manera de equilibrar la oferta y la demanda al mitigar las fluctuaciones del consumo ocasionados por los VE mediante técnicas de gestión de demanda.

La gestión de la demanda energética es una medida preventiva ante el posible colapso de las redes eléctricas de distribución, en la ciudad de Guayaquil, ocasionada por la introducción de VE. Se beneficiarán tanto los propietarios de los vehículos eléctricos como la empresa encargada de la distribución eléctrica, obteniendo un sistema de carga óptimo sin afectar la calidad de la energía de los sectores aledaños.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Gestionar de manera óptima, mediante algoritmos, la demanda de carga total producida por la introducción de VE en un sistema eléctrico.

1.3.2. Objetivos específicos

- Implementar una estrategia V2G para la modificación de la curva de demanda neta diaria del sistema eléctrico.
- Determinar si la gestión de demanda “Estrategia V2G” es viable para un sistema eléctrico.
- Reducir la demanda de carga total durante las horas picos producida por VE.

1.4. Tipología de los vehículos

El mercado automotor puede clasificar de varias maneras a los vehículos, pero para este estudio, se enfocará en como impactan a la red eléctrica y serán los siguientes:

1.4.1. Vehículos Eléctricos (VE):

Son vehículos que funcionan 100 % con energía eléctrica, poseen motores de corriente alterna y un enchufe el cual puede conectarse a una casa o una electrolinera a 110 o 220 V. Un vehículo eléctrico se lo puede considerar como una carga adicional; representa una alternativa para reducir la emisión de GEI y su costo de adquisición es considerablemente alto pero los costos de mantenimiento los compensan.[4]

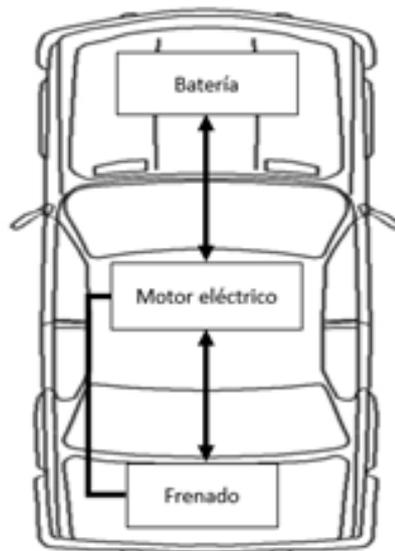


Figura 1.1: Esquema de vehículo eléctrico

[5]

1.4.2. Vehículos con motores de combustión interna (ICE)

Los vehículos que poseen un motor de combustión interna o traducido "Internal Combustion Engine" son vehículos con emisiones de óxidos de carbono y nitrógeno,

muchos más altos que su contraparte eléctrica. Pero, su costo de operación es mucho menor. No representa una carga alguna para la red eléctrica.

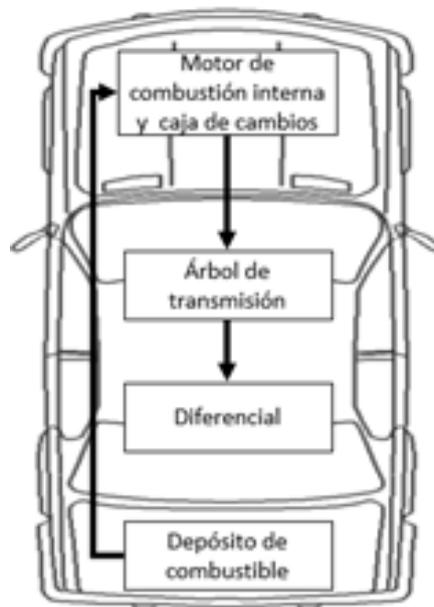


Figura 1.2: Esquema de vehículo con ICE

[6]

1.4.3. Vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV)

Este tipo de vehículos denominados “Plug-in hybrid electric vehicles” son un punto intermedio, una transición entre los vehículos con motor de combustión interna y los eléctricos. El motor de combustión interna y el enchufe se conecta a una toma de 110 o 220 V para cargar el sistema de baterías, de tal manera que ambas alternativas puedan mover el vehículo. Posee freno regenerativo.

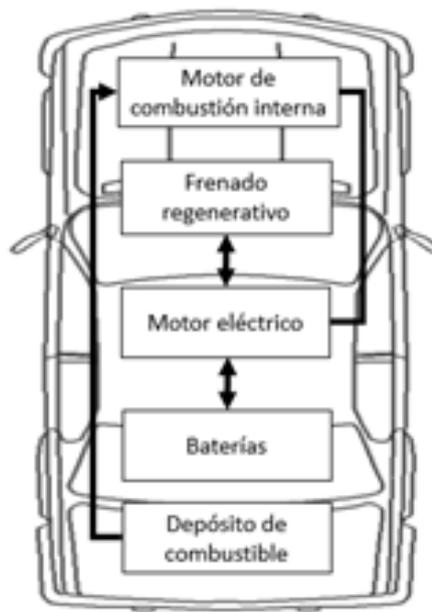


Figura 1.3: Esquema de vehículo PHEV

[5]

1.5. Tipos de recarga

Se consideran el tiempo de recarga según el tiempo que lleva recargar la batería. Se suele resumir en recarga lenta y recarga rápida, pero se considerarán cinco tipos a continuación[7]:

1.5.1. Recarga super-lenta:

Limitada a 10 A o menos por no poseer una base de recarga con la protección eléctrica adecuada, además quea recarga completa de un VE de capacidad entre 22-24 kwh puede tomar un tiempo de 10 a 12 h.

1.5.2. Recarga lenta:

Recarga realizada a una corriente de 16 A y su recarga completa para un VE demanda 3,6 kw y puede tomar un tiempo entre 6 a 8 h.

1.5.3. Recarga semi-rápida:

También llamada “quick-charge”. La recarga completa de un VE demanda una potencia entre 22-25 kw y puede tomar un tiempo de 1 a 4 h.

1.5.4. Recarga rápida:

También llamada “fast-charge”. La recarga completa de un VE demanda una potencia alta que va entre los 44-50 kw y normalmente la recarga de 22 a 24 kwh toma un tiempo de 30 minutos.

1.5.5. Recarga super-rápida:

La potencia es aproximadamente el doble de la recarga rápida. En el Tesla Model S, se recarga completamente con una potencia entre 90 y 120 kw y la recarga toma unos 20 min para 250 km de autonomía.

1.5.6. Recarga ultra-rápida:

Su uso es muy poco frecuente, aún es experimental. Se han diseñado para vehículos grandes como autobuses eléctricos. La recarga se completa con una potencia muy alta, entre 130 o 150 kw, y tarda un aproximado de 10 min. Su tiempo de vida útil es considerablemente bajo, ya que las baterías de litio no soportan temperaturas muy elevadas.

1.6. Modos de carga

Dependen de la comunicación entre el VE y la infraestructura de la recarga, y el control conseguido del proceso de carga (para su programación, ver su estado, detenerla, retomarla o volcar la electricidad a la red. [8]

1.6.1. Modo 1:

No tiene comunicación con la red. Se adapta a un tomacorriente convencional con enchufe de Schuko.

1.6.2. Modo 2:

Baja comunicación con la red. El cable tiene un mecanismo intermedio de control piloto, esto es útil para revisar una conexión correcta entre el VE y la red. Se sigue usando el conector Schuko.

1.6.3. Modo 3:

Elevada comunicación con la red. Los mecanismos de control y protección están dentro del punto de recarga. El cable contiene hilo de piloto de comunicación integrado como enchufes SAE J1772, Mennekes, Combinado o Scame.

1.6.4. Modo 4:

Elevada comunicación con la red. Existe un convertidor a CC y sólo se adapta a recarga rápida, como al enchufe CHAdeMo.

1.7. Gestión desde el lado de la demanda

Demand side management o bien en su traducción "Gestión de demanda" tiene como función reducir la demanda máxima. Es un enfoque en la gestión de la demanda para obtener un equilibrio entre la generación y el consumo. [9]

Este no es un término nuevo y se ha venido manejando en otras ramas y lo nuevo sería la aplicación hacia redes con impacto de los vehículos eléctricos.

La forma más usual de hacer esta gestión es el quitar las cargas para evitar un apagón total, sin embargo, existen cargas que no pueden ser despojadas y tampoco evitar abastecer a los vehículos que requieran conectarse a la red eléctrica. Para esto se es necesario conocer que tipos de cargas tendrán los vehículos y una técnica de gestión.

1.7.1. Aplanado del pico:

El afeitado del pico o como se lo suele conocer aplanado de la demanda". Es la acción de nivelar el uso de electricidad en horarios picos por parte de los consumidores, reduciendo la cantidad de energía y afeitando la curva de la demanda.

1.7.2. Llenado de valle

El llenado de las horas valle por otro lado, es la acción de aumentar el uso de electricidad en horarios donde la cantidad de energía sea baja.

1.8. Estrategias

Según vaya creciendo la carga de vehículos eléctricos, aumenta la demanda eléctrica, a tal punto de tener el potencial de alterar la curva de demanda en una introducción significativa de vehículos. La cantidad de energía necesaria para cubrir la mayor parte de la demanda se podría cubrir cargando durante una parte del tiempo total durante el cual estén estacionados los autos en las noches. Consecuentemente, la carga nocturna puede ser flexible en comparación a la carga diurna.

Según la dirección que tome el flujo de energía, existirán dos tipos de interacciones entre la red eléctrica y el vehículo en lo que a energía se refiere. Se clasifican en:

- Red a vehículo
- Vehículo a Red

1.9. Optimización de Enjambre de partículas

El método de optimización de enjambre de partículas o por sus siglas PSO, es un algoritmo estocástico propuesto por James Kennedy y Russel Eberthart.[10]

El motivo por el cual se desarrolló la simulación fue encontrar un modelo que describa el comportamiento social humano, el cual no es idéntico a la formación de banco de peces o de aves. La diferencia radicaba en su carácter abstracto. Las aves y los peces ajustan su desplazamiento físico para esquivar depredadores, búsqueda de comida y pareja, optimizando parámetros ambientales como temperatura, etc. Por otro lado, los seres humanos no solo ajustamos el movimiento físico sino también las variables cognitivas o la experiencia. Por lo general, no se camina al unisonó (aunque algunas investigaciones sobre la conformidad humana demuestran que somos capaz de hacerlo);

más bien, tendemos a ajustar nuestras creencias y actitudes para la adaptación de nuestros compañeros sociales [11]

Los enjambres inicialmente tienen una población de soluciones aleatorias. A cada solución potencial, llamada partícula, se le asigna una velocidad aleatoria y se hace volar a través del espacio de búsqueda. Las partículas tienen recuerdo y cada partícula mantiene tachuelas de la mejor posición anterior, llamada *p-best* y la aptitud correspondiente. De nuevo, *g-best* es la posición de la partícula que tiene el valor de aptitud más alto para la iteración actual.

Todas las partículas siempre tienden a moverse en la dirección de su *p-best* y *g-best*. La velocidad y la posición de las partículas se cambian de acuerdo con (1.1) y (1.2) respectivamente.[12]

$$V_i^{k+1} = w.V_i^k + c_1.rand_1 * (pbest_i - x_i^k) + c_2.rand_2 * (gbest - x_i^k) \quad (1.1)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + V_i^{k+1} \quad (1.2)$$

Donde:

c_1 y c_2 son constantes de aceleración positiva.

w es factor de inercia.

$rand_1$ y $rand_2$ son números aleatorios (con distribución de probabilidad uniforme en el rango $[0,1]$).

x_i representa la $i^{ésima}$ partícula.

$pbest_i$,la mejor posición previa de x_i .

$gbest$ es la mejor posición de la mejor partícula de la población

El factor de inercia (w) y los coeficientes de aceleración (c_1 y c_2) afectan el desempeño del algoritmo ya que, la variación de ellos puede balancear la búsqueda global o local durante el proceso de optimización. Las constantes de aceleración controlan la influencia hacia $gbest$ y $pbest_i$. Que los coeficientes sean cercanos a cero generan una búsqueda fina en una región, mientras que sean cercanos a uno permiten a la partícula sobrepasar la posición de $gbest$ y $pbest_i$, concluyendo en una búsqueda más amplia.

La implementación del algoritmo de PSO se ilustra en el diagrama de flujo mostrado a continuación:

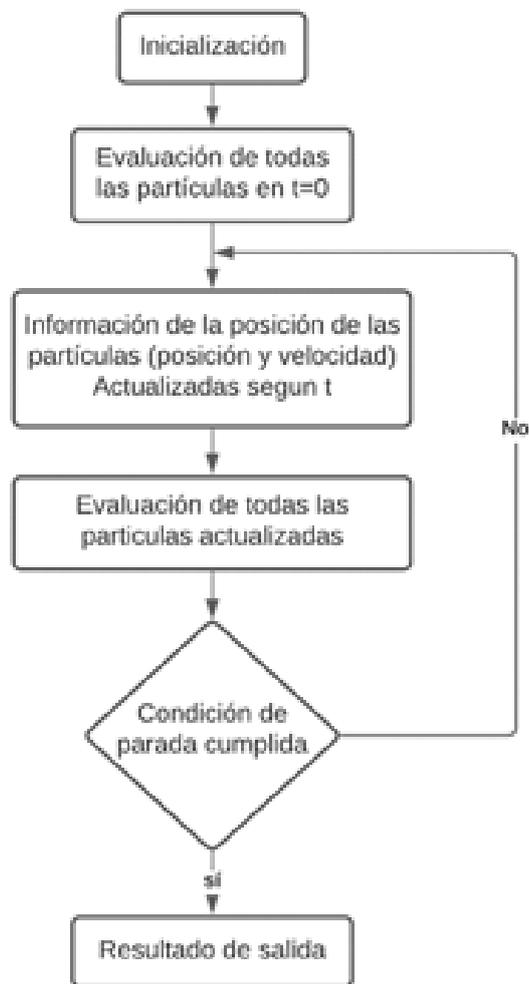


Figura 1.4: PSO: Diagrama de Flujo

[9]

1. Inicialización Para las partículas se establecen los límites de posición y velocidad, la población inicial, valor correspondiente pbest y condición parada del algoritmo.

2. Evaluación de la población inicial: Se evalúa el costo para la totalidad de las partículas, lo cual se realiza con la función objetivo, finalmente se selecciona la mejor partícula global gbest.

3. Actualización de posición y velocidad Se requiere actualizar tanto la posición como la velocidad (de acuerdo con el punto 1), si están fuera de los límites, se deben ajustar a

los valores establecidos. **4. Evaluación de la población actualizada. (Similar al segundo punto)** De acuerdo al valor de la función objetivo, la posición de las partículas es actualizada; las gbest y pbest se deberán actualizar en caso de ser necesario. **5. Verificación del cumplimiento de la condición de parada** Correspondería al número de iteraciones (o valor mínimo de la función objetivo). Si no se cumple la condición de parada la actualización debe ser repetida. Si sí se cumple, se finaliza el proceso de optimización **6. Resultados de salida** Es la mejor solución obtenida en la optimización “gbest”.

Capítulo 2

Formulación del problema de optimización V2G

2.1. Formulación de la función objetivo

El sistema V2G recibe información sobre la capacidad disponible de potencia para carga y descarga asociada a los conjuntos de baterías de los vehículos eléctricos, mismos que pueden conectarse a la red en cualquier momento del día. Sin embargo, la cantidad de vehículos conectados no es un dato que permanezca constante en el tiempo debido a la movilización de los usuarios, es por esto que es necesario realizar mediciones continuamente para mantener nuestra base de datos actualizada y lograr que la solución de nuestro programa se adapte a la realidad del sistema.

La función objetivo de nuestro producto está determinada por la medición actual de la demanda de potencia, el valor de potencia al que queremos llegar y la capacidad de aporte de los EV para poder llegar a ese objetivo. Dicha función se describe a continuación:

$$\text{mín } f_{\text{objetivo}} = |\text{Obj} - (\text{Cr} + \text{sum}(\text{Vh}))| \quad (2.1)$$

Donde:

Obj es la función objetivo de una central inteligente.

Cr representa la curva real de la demanda energética.

$\text{sum}(\text{Vh})$ es la suma total de la carga añadida por los vehículos eléctricos.

Existen varias técnicas de optimización para adaptar al sistema que nos ayudarán a encontrar la mejor solución. Para nuestro proyecto hemos decidido trabajar con el sistema de optimización de partículas (PSO).

2.2. Restricciones

Se presentarán las restricciones que deben cumplir al menos el sistema V2G de control:

$$0,35 \leq SOC \leq 0,95 \quad (2.2)$$

$$0,35xP_{ev}\Delta \leq Ener_{disp} \leq P_{ev}\Delta \quad (2.3)$$

$$0,35xP_{ev}\Delta \leq Valor_{optimo} \leq Ener_{disp} \quad (2.4)$$

Donde,

SOC es el estado de carga que tienen los vehículos eléctricos.

P_{ev} es la potencia de EV disponible con SOC al 100 %.

$Ener_{disp}$ es la energía disponible que se puede aportar al sistema eléctrico en una unidad de tiempo.

$Valor_{optimo}$ es el valor de la optimización que indica la energía que se va aportar o recibir de la red.

Además, hemos establecido otras variables que nos ayudan a representar la disponibilidad de los EV's para cada medición como, por ejemplo: el porcentaje de vehículos eléctricos conectados a un CC (Centro de Carga) inteligente que a su vez nos da información acerca de los vehículos que entran y salen de dichos centros. Dicho porcentaje fue establecido tomando en cuenta la rutina diaria de trabajo del ecuatoriano promedio.

A continuación, podemos observar en la tabla 2.1 como cambia en porcentajes, la cantidad de EV conectados a un CC inteligente a lo largo del día:

Tabla 2.1: DISPONIBILIDAD DE POTENCIA DE VEHÍCULOS PARA CARGA Y DESCARGA EN EL SISTEMA V2G

Horarios	Proporción promedio de carga	Observaciones
00:00 hasta 06:00	60 %	Se estima un porcentaje debido al trabajo nocturno que tienen las industrias.
06:30 hasta 07:30	20 %	El porcentaje disminuye debido a que en este horario es la transición entre el horario nocturno y matutino.
08:00 hasta 17:00	80 %	Se regresa a una producción normal por ende se trabaja con un promedio de carga alto
17:30 hasta 23:30	50 %	Se reduce nuevamente porque los trabajadores regresan a sus hogares mas sin embargo es la transición al horario nocturno.

De la tabla anterior podemos deducir también la entrada y salida de vehículos de los CC inteligentes a lo largo del día tal como se muestra en el gráfico a continuación:

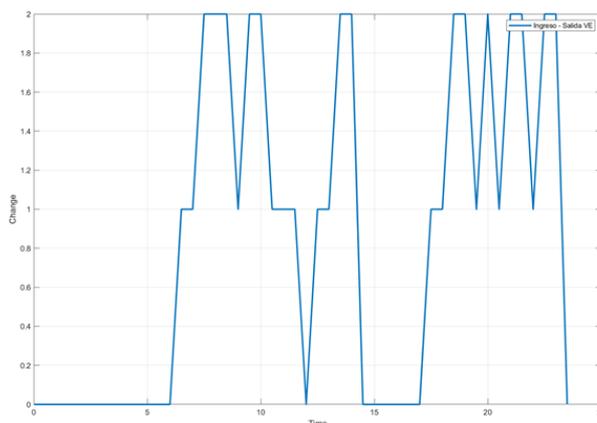


Figura 2.1: Ingreso y Salida de VE de las centrales inteligentes

Cuando la curva toma valores de cero, significa que no ha habido cambio, valores de 1 representan salida de vehículos y valores de 2 representa el ingreso de EV a centros de carga. Los vehículos que dejen el CC saldrán con un SOC de 90 % (en la mañana) y 70 %

(en la tarde) y los que lleguen un SOC de 50 %. Esto nos ayuda a mantener el estado de carga del centro actualizada para cada medición.

2.3. Curva objetivo

Para aplanar la curva de demanda hemos elaborado un algoritmo que relaciona el valor de carga actual y el promedio diario descrito a continuación:

Cuando $Curva.Obj - Prom(Curva.Cr) > 2$,

$$Curva.Obj = Med(Curva.Cr) \pm [Prom(Curva.Cr) - Med(Curva.Cr)] \cdot F.obj \quad (2.5)$$

Caso contrario,

$$Curva.Obj = [Med(Curva.Cr) \pm [Prom(Curva.Cr) - Med(Curva.Cr)] \cdot F.obj] \cdot 1,05 \quad (2.6)$$

Donde:

$Curva.Obj$ es el punto de la curva objetivo a alcanzar.

$Curva.Cr$ es el punto de la curva real.

$F.obj$ es un factor objetivo, dependiendo si es aumento o reducción de la curva se toma 0,8 y 0,4 respectivamente.

$Prom()$ es el promedio de la curva.

$Med()$ es la mediana de la curva.

Las funciones anteriores describen el proceso, donde básicamente se trata de acercar los valores de carga a lo largo del día hacia un valor central de la curva, de esta forma disminuyendo así la pronunciación de picos y valles.

2.4. Solución de la Metodología

El sistema de control V2G recibe información sobre el SOC de cada vehículo eléctrico, capacidad de carga y descarga, disponibilidad de los vehículos eléctricos, etc. Con esta información, se obtiene un plan basado en la curva de carga objetivo y la capacidad de vehículos conectados por lo que, la curva final obtenida por el sistema V2G se implementa con el fin de rellenar los valles y reducir los picos. La figura a continuación detalla el sistema de control, su toma de decisiones en función de las diversas entradas del centro de control de la red inteligente y el dispositivo de carga.

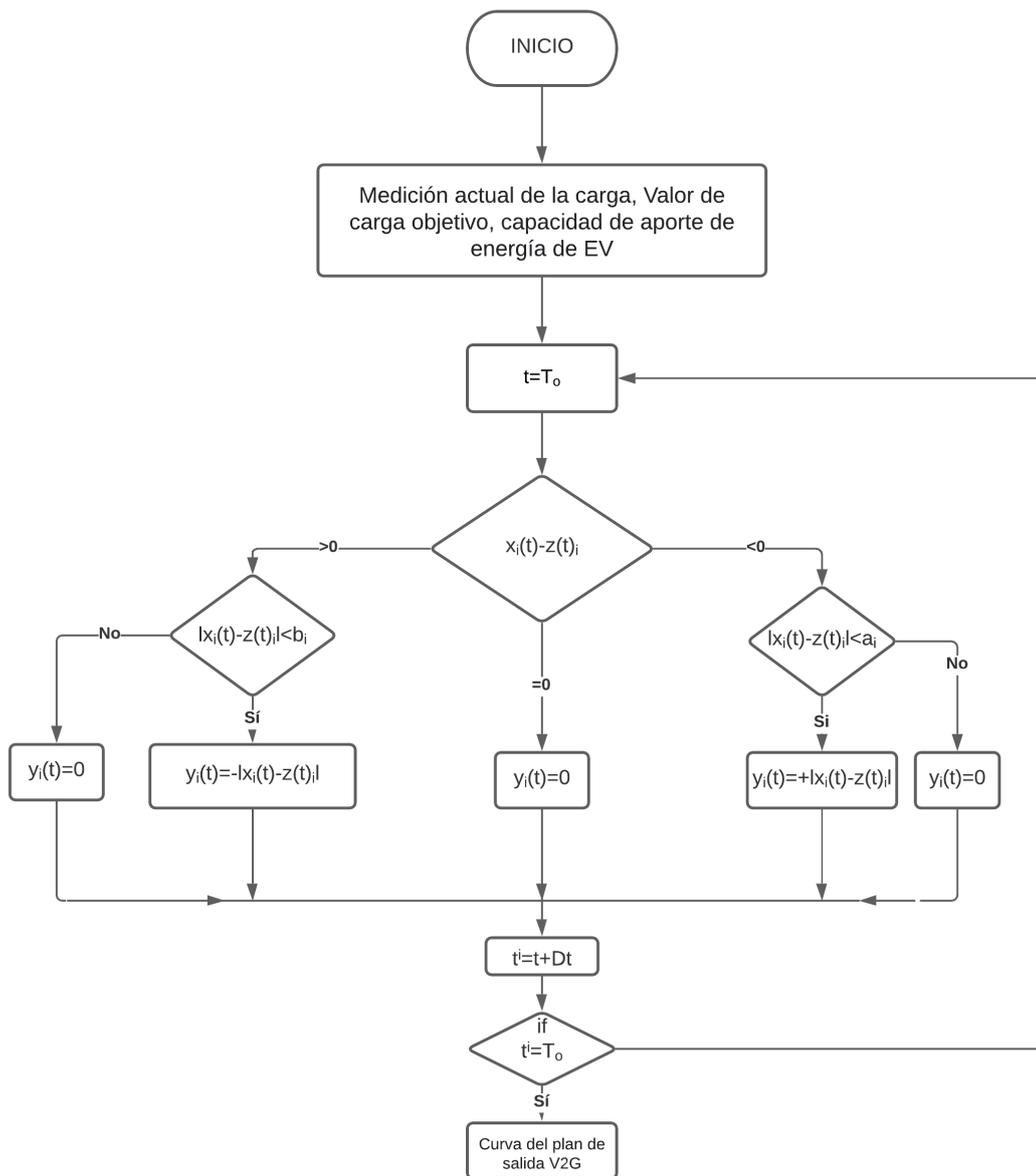


Figura 2.2: Algoritmo para determinar curva objetivo por V2G

[9]

A cualquier hora, se recibe información sobre los valores de carga pronosticados, la curva objetivo calculada y los valores pronosticados de la carga y descarga disponible de cada vehículo eléctrico. Cuando exista un pico en la red y los vehículos estén conectados, se tendrá suficiente carga para cubrir la demanda pico o en el caso del valle, de haber suficientes autos, ser utilizados como un gran almacenamiento de batería.

La figura muestra como se desarrolla el plan V2G. Se conoce la curva de carga prevista $x_i(t)$ y se calcula la curva de carga objetivo $z_i(t)$. Usando estas entradas junto a la disponibilidad de los vehículos eléctricos, el sistema de control V2G, se logra la curva del plan V2G. Se considera varias restricciones como el número de vehículos eléctricos, la capacidad de la batería, el estado de carga, etc. La toma de decisiones sobre el estado de carga y descarga de las baterías de los vehículos eléctricos es de primordial importancia, ya que sirve como punto de partida para la curva del plan V2G.

Capítulo 3

Análisis de escenarios con distinto impacto de ev's y diferente aplanamiento de curva

Haciendo uso del algoritmo descrito en la figura 2.2 , la simulación de la potencia de carga y descarga de los vehículos eléctricos se encontrará limitada a las restricciones y condiciones antes mencionadas. Se asume que los vehículos son vehículos eléctricos puros y no incluyen los vehículos eléctricos híbridos enchufables, mediciones cada 30 min y potencia de la batería de 100 W (Carga rápida media).

3.1. Escenario 1: Aplanamiento:40 %, Impacto de carga: 15 %

Se tienen un escenario con un aplanamiento de la curva de demanda de un 40 % donde los EV representan el 15 % de la carga eléctrica total, es decir alrededor de 98000 vehículos. En la figura , se muestra en una gráfica las curvas objetivo, real y la curva obtenida con nuestro programa.

Un aplanamiento del 40 % supone un objetivo bastante demandante para el sistema, sin embargo, el que un 15 % de la carga eléctrica sean EV, mismos que son necesarios para lograr el objetivo, hace que el aplanamiento deseado sea factible.

En la figura 3.1 podemos darnos cuentas que, si bien el resultado no es exactamente el objetivo, se acerca mucho a este. Las horas del día donde más se complica el alcanzar el ideal son entre el medio día y las 8 de la noche; Aunque son horas con alto número de EV conectados, la curva objetivo se separa bastante de la real y la energía disponible para el proceso V2G no es suficiente. Como lo dijimos, un aplanamiento del 40 % es un escenario demasiado exigente y aun así el programa ha sabido acercarse bastante al objetivo.

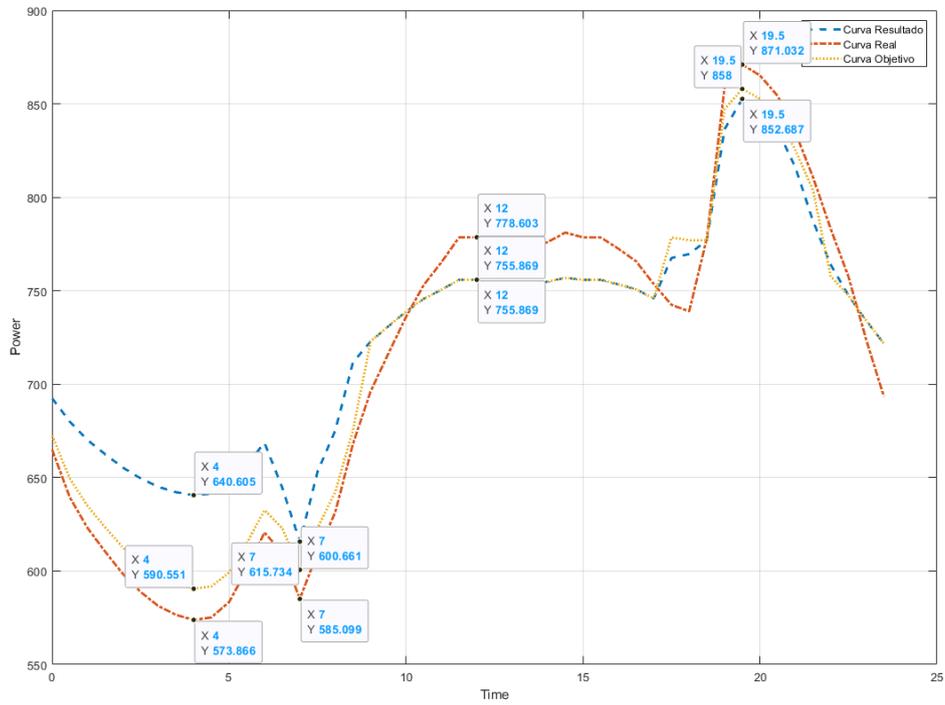


Figura 3.1: Escenario 1: Curva Real-Objetivo-Resultado vs Tiempo

La energía intercambiada entre la red y los vehículos eléctricos se muestran en la siguiente figura.

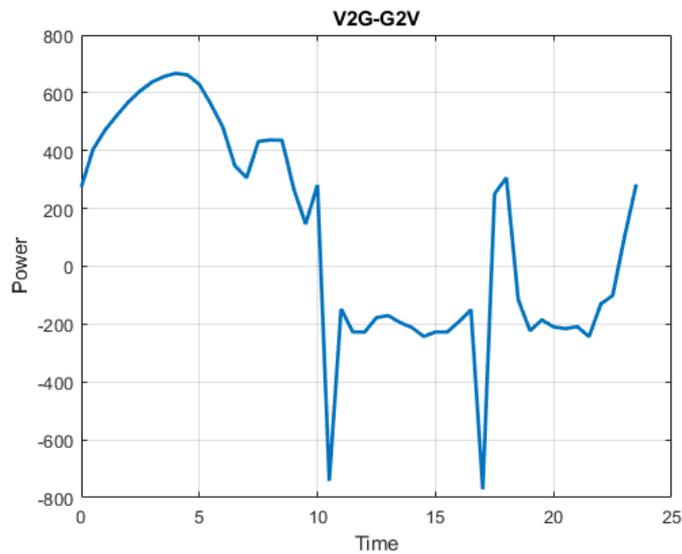


Figura 3.2: Escenario 1: V2G - G2V

EL intervalo de tiempo donde la curva se sitúa sobre el "0" son los momentos donde los EV están actuando como cargas, mientras que cuando la curva está bajo el "0", son los vehículos quienes aportan energía a la red. Como se observa durante las horas de la madrugada es donde existe mayores valores de energía positiva, esto muestra que durante esas horas existe una gran cantidad de vehículos cargando. Por otro lado, las horas laborables es donde los vehículos más aportan a la red, esto se debe a que a esas horas le demanda alcanza sus valores máximos y al encontrarse los EV cargados, pueden aportar energía a la red para disminuir los picos.

La Tabla 3.2 muestra una comparación entre los valores característicos de las distintas curvas. En general, el valor pico disminuye aproximadamente 19 MW y el valor valle aumenta un poco más de los 66.74 MW. La diferencia entre el pico y el valle se reduce con la gestión de la demanda en un el valor del 85.243 MW.

Tabla 3.1: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE POTENCIA DE PICO Y VALLE DE LA CURVA ACTUAL, OBJETIVO Y RESULTADO: ESCENARIO 1

	Valor Real	Valor Objetivo	Valor Resultante	Aporte del sistema V2G
Valor pico VP (MW)	871,03	818,90	852,53	18,50
Valor valle VV (MW)	573,87	640,61	640,61	-66,74
Diferencia entre VP-VV "PD"	297,17	178,30	211,92	85,24
Proporción PD/VP	0,34	0,22	0,25	0,09
Proporción PD/VV	0,52	0,28	0,33	0,19

Como podemos darnos cuenta se notó una diferencia importante en los valores valle antes y después de la optimización, no así en los valores pico. Esto se debe a que para el sistema le resulta más fácil el cargar los vehículos antes que usarlos para aportar energía a la red, pues parte de la energía almacenada se usa en el transporte, haciendo así que la energía restante no baste para cumplir con el objetivo.

3.2. Escenario 2: Aplanamiento:20 %, Impacto de carga: 5 %

Se tienen un escenario con aplanamiento de la curva de demanda hasta en un 20 % y los EV representan el 5 % de la carga total. Este escenario resulta más factible, un aplanamiento del 20 % sigue siendo un esfuerzo importante, pero mucho más probable que el anterior del 40 %. Un 5 % de impacto de EV contempla la realización del proyecto de usar solo vehículos eléctricos para el transporte público contemplado para el 2025. Por lo tanto, tenemos un escenario más probable para estos próximos años.

En la figura 3.3 observamos un comportamiento bastante similar a nuestro caso anterior, pues a pesar de disminuir el aplanamiento en un 50 % respecto al anterior, hemos disminuido a un tercio la cantidad de EV disponibles. Observamos que alrededor de las seis de la mañana existe un pico, esto se debe a que a esa hora el sistema mide muchos más vehículos conectados respecto a su medición anterior, esto debido a que es la hora donde la mayoría inicia su jornada laboral y acaba de llegar a su puesto de trabajo y para la medición anterior estos se encontraban conduciendo, desconectados de la red.

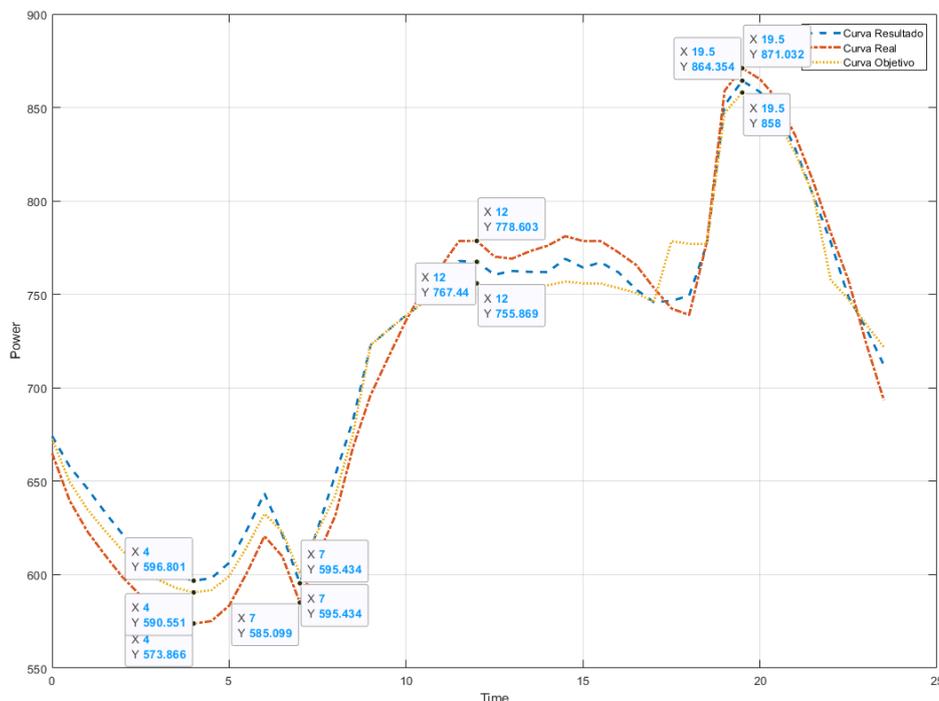


Figura 3.3: Escenario 2: Curva Real-Objetivo-Resultado vs Tiempo

La energía intercambiada entre la red y los vehículos eléctricos se muestran en la figura 3.4. Los periodos donde el sistema toma energía de los EV (V2G) y donde los EV toman energía de la red (G2V) se mantienen igual, lo cual es de esperarse debido a que la curva real no ha sido cambiada. Por otro lado, la forma de la curva si tiene mucha diferencia.

Notamos una carga menor en los valores de la madrugada, debido a la disminución de vehículos mientras que en la tarde hay mayor variación de valores durante el periodo V2G debido a que a menor cantidad de EV, el sistema nota más cuando un vehículo entra o sale del centro de carga y los picos son alrededor de las 2pm y 4pm, horas donde se estableció para que algunos EV dejen los centros de carga.

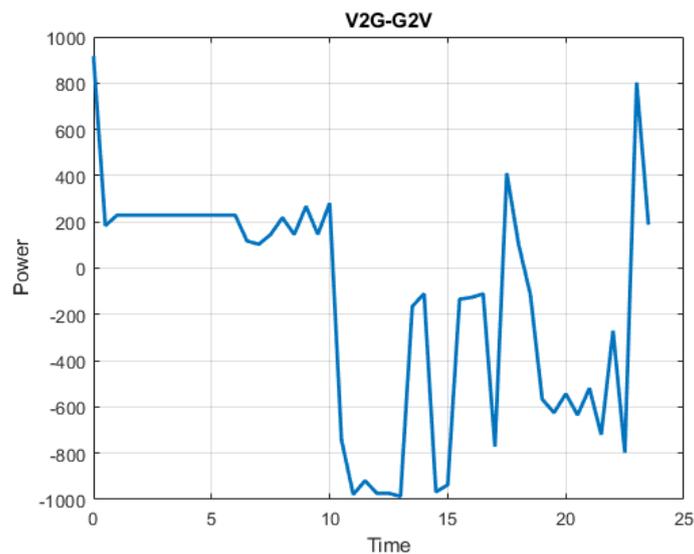


Figura 3.4: Escenario 2: V2G - G2V

Tabla 3.2: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE POTENCIA DE PICO Y VALLE DE LA CURVA ACTUAL, OBJETIVO Y RESULTADO: ESCENARIO 2

	Valor Real	Valor Objetivo	Valor Resultante	Aporte del sistema V2G
Valor pico VP (MW)	871,03	847,95	844,97	26,06
Valor valle VV (MW)	573,87	607,24	696,08	-122,22
Diferencia entre VP-VV "PD"	297,17	240,71	148,88	148,28
Proporción PD/VP	0,34	0,28	0,18	0,16
Proporción PD/VV	0,52	0,40	0,21	0,30

La Tabla 3.3 muestra una comparación entre los valores característicos antes y después del pico de afeitado. En general, el valor pico disminuye aproximadamente 26.064 MW y el valor valle aumenta un poco más de los 122.22 MW. La diferencia entre el pico y el valle se reduce con la gestión de la demanda en un el valor del 148,282 MW. A pesar de que las curvas tienen un comportamiento similar al escenario anterior, la reducción entre valle y pico es mucho mayor en este escenario, lo que significa que hemos obtenido un resultado más eficiente en relación a lo buscado y lo obtenido.

3.3. Escenario 3: Aplanamiento:10 %, Impacto de carga: 1 %

Con un aplanamiento del 10 % y un impacto de EV del 1 % nos asemejamos a un escenario más real. El objetivo no escapa de lo realizable y a pesar de ser un cuarto del objetivo del primer escenario, lograrlo significa un gran aporte a la red eléctrica. El 1 % de EV es un valor bastante cercano al impacto actual de los vehículos eléctricos.

En la figura 3.5 observamos como responde nuestro programa ante este planteamiento. Tenemos una curva de resultado mucho más alejada del objetivo en esta ocasión. Lo cual es de esperarse debido a la muy poca disponibilidad de EV. Las horas donde se puede ver el mayor acercamiento al objetivo son las horas de la madrugada y las horas laborables, puesto que son horas del día con mayor disponibilidad de EV conectados a los Centros de Carga. Para las horas donde los Vehículos eléctricos están en circulación, el sistema V2G parece no haber tan siquiera actuado.

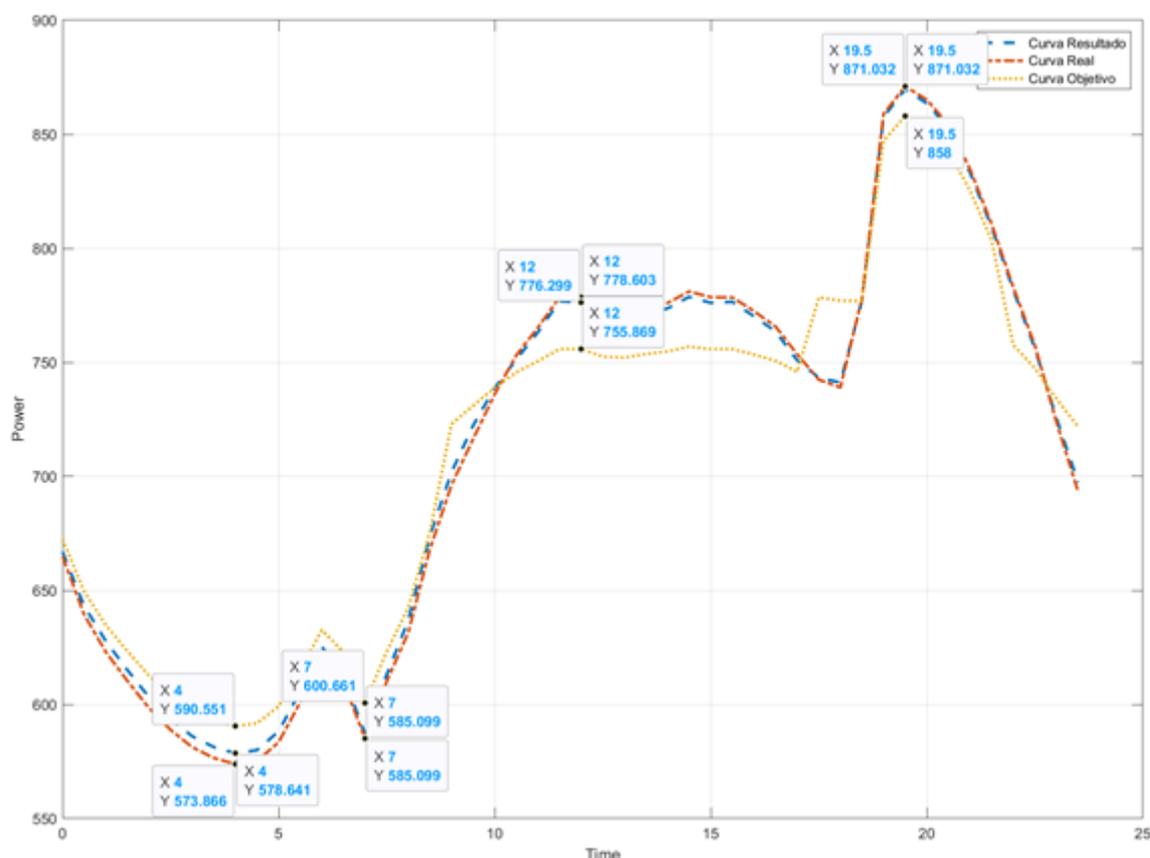


Figura 3.5: Escenario 3: Curva Real-Objetivo-Resultado vs Tiempo

La Tabla 3.3 muestra una comparación entre los valores característicos de las distintas curvas. En este escenario, el sistema V2G prácticamente no ha hecho ninguna diferencia

o al menos es imperceptible. Para el valor pico de la curva no existe ningún cambio, en el valor valle podemos ver un aumento de consumo de 4 MW que, a pesar de ser una cantidad de energía importante, en proporción con el sistema, no es un gran aporte.

Tabla 3.3: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE POTENCIA DE PICO Y VALLE DE LA CURVA ACTUAL, OBJETIVO Y RESULTADO: ESCENARIO 3

	Valor Real	Valor Objetivo	Valor Resultante	Aporte del sistema V2G
Valor pico VP (MW)	871,32	858,00	871,32	0,00
Valor valle VV (MW)	573,87	590,55	578,64	-4,77
Diferencia entre VP-VV "PD"	297,45	267,45	292,68	4,77
Proporción PD/VP	0,34	0,31	0,34	0,01
Proporción PD/VV	0,52	0,45	0,51	0,01

3.4. Escenario 4: Curva Objetivo no tan plana - Aplanamiento:10 % Impacto de carga: 15 %

Un escenario bastante optimista, pero realizable; Una disminución en un 10 % de la curvatura de carga con un impacto de EV del 15 %. Un aplanamiento del 10 % significa una importante mejora en la gestión de la demanda, un 15 % de representación eléctrica de vehículos es factible, a largo plazo tal vez, pero totalmente probable.

En la figura 3.6 vemos por primera vez que los resultados igualan a los objetivos en la mayor parte del día, con la excepción de las 5pm y 9pm (aproximadamente) aunque aún en esta franja, se acerca bastante a los valores deseados.

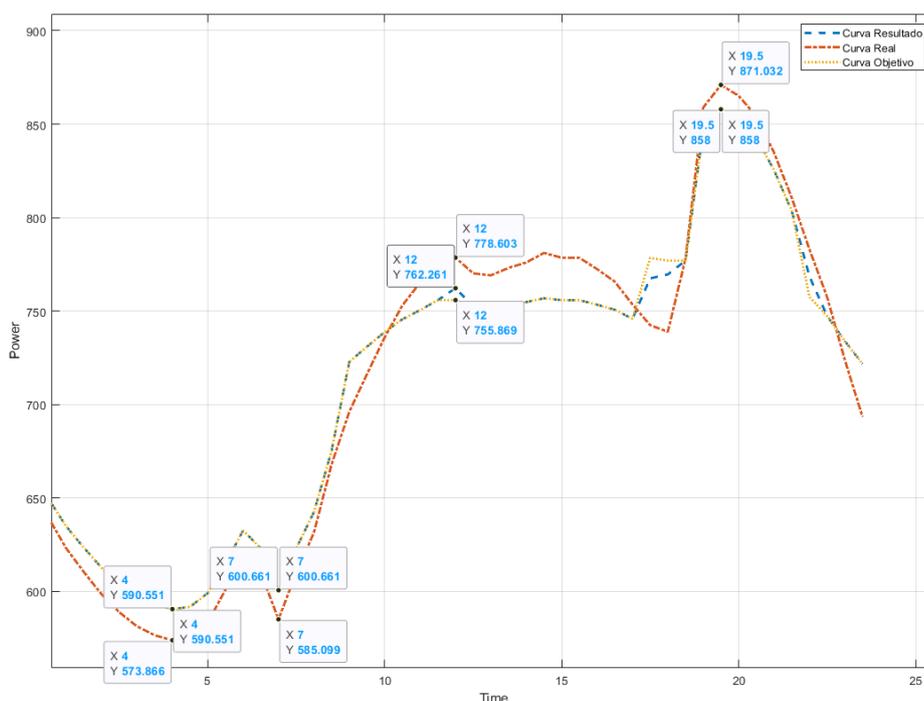


Figura 3.6: Escenario 4: Curva Real-Objetivo-Resultado vs Tiempo

La energía intercambiada entre la red y los vehículos eléctricos se muestran en la siguiente figura.

En la Tabla 3.5 podemos ver que, a pesar de no ser el aporte al sistema más grande en comparación con el resto de los escenarios, es un aporte significativo. Tenemos un aumento en el valle de 16.68 MW y una disminución de pico en 13.03 MW, una disminución entre

Tabla 3.4: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE POTENCIA DE PICO Y VALLE ANTES Y DESPUÉS DEL APLANAMIENTO: ESCENARIO 4

	Valor Real	Valor Objetivo	Valor Resultante	Aporte del sistema V2G
Valor pico VP (MW)	871,032	858	858	13,03
Valor valle VV (MW)	573,866	590,55	590,55	-16,68
Diferencia entre VP-VV "PD"	297,17	267,45	267,45	29,72
Proporción PD/VP	0,34	0,31	0,31	0,03
Proporción PD/VV	0,52	0,45	0,45	0,06

pico y valle de 29.72 MW.

La Tabla 3.5 muestra una comparación entre los valores característicos antes y después del pico de afeitado. En general, el valor pico disminuye aproximadamente 13 MW y el valor valle aumenta un poco más de los 16.644 MW. La diferencia entre el pico y el valle se reduce con la gestión de la demanda en un el valor del 90 %.

3.5. Comparación entre Escenarios Propuestos y Curva Real

Se propusieron 4 escenarios distintos, con distinto esfuerzo (aplanamiento) y capacidad (Impacto) entre ellos. El escenario uno, es un escenario bastante optimista y poco realizable, donde a pesar de tener un importante aporte a la gestión de demanda como resultado, lograr aplanar la curva en un 40 % es bastante difícil.

El escenario dos nos ofrece la mejor opción dentro de las cuatro consideradas, pues consiste en un impacto bajo de vehículos, un aplanamiento alcanzable y los resultados son muy alentadores, los mejores resultados del estudio.

El escenario tres es el que mejor describe nuestra situación actual, en caso de implementar ahora este sistema, simplemente no existe la cantidad de vehículos suficiente para lograr una mejor gestión de demanda. El peor escenario de los cuatro considerados.

El escenario número cuatro, un escenario bastante probable también con los segundos mejores resultados en relación a sus parámetros aplanamiento e impacto. Se ve superado

Escenario	UNO	DOS	TRES	CUATRO
Aplanamiento %	40	20	10	10,00
Impacto %	15	5	1	15,00
Valor pico VP (MW)	18,504	26,064	0	13,03
Valor valle VV (MW)	-66,739	-122,218	-4,774	-16,68
Diferencia entre VP-VV "PD"	85,24	148,28	4,77	29,72

por el escenario número dos, debido a que tiene un mayor impacto de EV, pero su aporte se ve limitado por la curva objetivo.

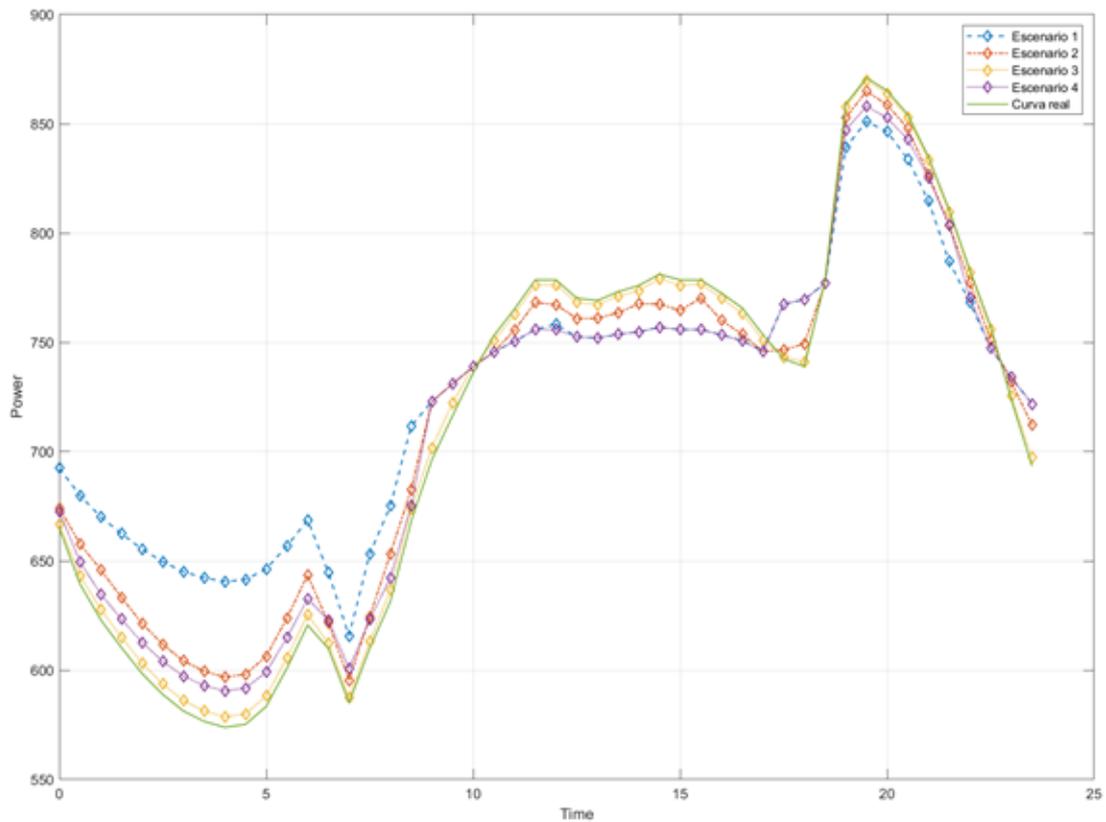


Figura 3.7: Comparación entre la curva real vs curvas objetivo optimizadas

Capítulo 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Un aplanamiento alto fuerza al sistema a obtener una curva de demanda con picos y valles menos pronunciados y si existe la cantidad de vehículos necesarios, se logrará el objetivo, sin embargo, esto podría implicar dejar a los vehículos con el SOC mínimo. Por otro lado, un aplanamiento de curva pequeño hará que el sistema logre el objetivo logrando un SOC de los vehículos relativamente alto, pero podríamos estar desaprovechando la capacidad total del sistema.

La electrificación vehicular es una realidad que día a día es más tangible y a pesar de que a día de hoy la implementación del sistema V2G no haga una gran diferencia en la gestión de demanda, en los próximos años será necesario para evitar inconvenientes con la red y aprovecharla al máximo.

Debido a que habrá horas del día donde algunos vehículos dejen el centro de carga con el SOC mínimo, es necesario establecer un incentivo que motive al usuario a participar de este sistema.

Para sacar un mejor rendimiento al sistema V2G es necesario la ubicación estratégica de centros de carga inteligentes en lugares donde exista una cantidad considerable de vehículos constantemente cargando, lugares como: centros comerciales, urbanizaciones o edificios administrativos.

Bibliografía

- [1] L. Isla, M. Singla, M. R. Porcel, and I. Granada, “Análisis de tecnología, industria y mercado para vehículos eléctricos en américa latina y el caribe,” *Nota técnica del BID*, no. 1628, 2019.
- [2] ARCONEL, “Pliego tarifario para las empresas elÉctricas de distribución,” *Nota técnica del BID*, 2019.
- [3] F. EJECUTIVA, “registro oficial n° 449.”
- [4] J. J. C. Mediavilla, L. X. O. Hinojosa, J. A. T. Csanoba, and C. A. G. Calvache, “Análisis de incentivos y proyecciones del vehículo 100 % eléctrico en el ecuador,” *INNOVA Research Journal*, vol. 2, no. 4, pp. 112–124, 2017.
- [5] F. Endesa., “La emobility y los coches eléctricos,” [urlhttps://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-emobility-coches-electricos](https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-emobility-coches-electricos), 2020, accedido 04-02-2021.
- [6] Toyocostanoticia, “Sistema de escape del vehículo,” [urlhttp://www.toyocosta.com/blog/sistema-de-escape-del-vehiculo/](http://www.toyocosta.com/blog/sistema-de-escape-del-vehiculo/), 2014, accedido 04-02-2021.
- [7] E. x, “Tipos de recarga en coches eléctricos,” [urlhttps://www.endesax.com/es/recursos/historias/tipos-carga-coche-electrico](https://www.endesax.com/es/recursos/historias/tipos-carga-coche-electrico), 2020, accedido 04-02-2021.
- [8] P. Ibáñez, “Tipos de conectores, tipos de recarga y modos de carga,” *Motorpasión Futuro Web Site*, pp. 1–15, 2012.
- [9] P. Shinde and K. S. Swarup, “Optimal electric vehicle charging schedule for demand side management,” in *2016 First International Conference on Sustainable Green Buildings and Communities (SGBC)*, 2016, pp. 1–6.

- [10] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, vol. 4, 1995, pp. 1942–1948 vol.4.
- [11] L. Cagnina, S. Esquivel, and R. Gallard, "Particle swarm optimization for sequencing problems: a case study," in *Proceedings of the 2004 Congress on Evolutionary Computation (IEEE Cat. No.04TH8753)*, vol. 1, 2004, pp. 536–541 Vol.1.
- [12] C. Duarte and J. Quiroga, "Algoritmo pso para identificación de parámetros en un motor dc," *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, no. 55, pp. 116–124, 2010.