

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

### **ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA INTEGRACIÓN DE FLOTAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS A NIVEL RESIDENCIAL EN SISTEMAS MODERNOS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**GABRIELA ESTEFANÍA CAMINO IPIALES**

**DIRECTOR: Dr. PAUL FABRICIO VÁSQUEZ MIRANDA**

**Quito, Mayo 2022**

## **AVAL**

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Gabriela Estefanía Camino Ipiates, bajo nuestra supervisión.

**Dr. PAUL FABRICIO VÁSQUEZ MIRANDA**  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Yo, Gabriela Estefanía Camino Ipiales, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración dejo constancia de que la Escuela Politécnica Nacional podrá hacer uso del presente trabajo según los términos estipulados en la Ley, Reglamentos y Normas vigentes.

GABRIELA ESTEFANÍA CAMINO IPIALES

## DEDICATORIA

*A mi Amado Padre Celestial, mi vida no tendría sentido sin su inconmensurable amor, misericordia y perdón, pues sin contar la multitud de mis errores, su favor y bendición me han acompañado cada uno de mis días. Tú me haces descansar en verdes prados, guiándome junto a aguas de reposo, no temeré mal alguno porque tu diestra me sustenta, Tú eres mi dulce refugio, mi luz, mi Amado, mi Todo. Si te tengo a Tí, tengo todo lo que necesito, puedo correr y no cansarme, caminar sin fatigarme, puedo levantar alas como las águilas. Para Tí no hay nada imposible. Amado de mi alma, te amaré por la eternidad.*

*A mi mami Mery, mi inspiración, mi fuerza, mi motor, mi alegría y motivación, el bálsamo de mis heridas. A ti, que pese a las adversidades siempre creíste en mí, y me impulsaste a seguir adelante, la vida no me alcanzará para recompensar todas las cosas que haces por mí. No existe miedo alguno si me refugio en tus brazos, arrullarme a tu lado, mientras tu amor me abriga ha disipado mis dolores y angustias, has salvado mi vida con tus oraciones y tu sonrisa, en ellas he encontrado siempre la fortaleza para seguir luchando. Mi dulce princesa, precioso ángel que nunca me abandonó y jamás lo hará. ¡Te amo infinitamente!*

*A mi papá Julio, de quien siempre cuidaré y honraré con profundo cariño hasta el fin de mis días.*

*A mi ñañito Julio César, mi orgullo, el único hombre que realmente me amó. Sé que existen hombres buenos gracias a ti, de aquellos hombres que aman a Dios, intachables, fieles, respetuosos y amorosos, hombre noble y ejemplo de vida, de fortaleza inquebrantable y dulce sensibilidad. Mi niño grande y compañero de juegos, mi hombre predilecto, todo mi amor, agradecimiento y admiración.*

*“No temas, porque yo estoy contigo;  
no desmayes, porque yo soy tu Dios que te esfuerzo;  
siempre te ayudaré, siempre te sustentaré con la diestra de mi justicia...*

*Porque yo Jehová soy tu Dios,  
quien te sostiene de tu mano derecha y te dice:  
¡No Temas! Yo te ayudo.”*

**Isaías 41:10, 13**

## AGRADECIMIENTO

*A mi Amado Dios, quién siempre ha peleado mis batallas, gracias por incluso cada tormenta en mi vida, pues solo entonces puedo depender de Ti como quizá no lo haría si todo fuese felicidad, porque, aunque guardes silencio siempre estás a mi lado. Esperar en Ti, es lo mismo que tener la victoria. Gracias por mis debilidades porque así puedo saber que solo fuiste Tú, siempre has sido Tú, has estado conmigo en medio de la tormenta, curando mis heridas con tu amor, recordándome con tu dulce voz que no hay nadie que me ame como lo haces Tú, con aquel perfecto amor donde reposa mi alma segura, en donde encontré lo que tanto había estado buscando.*

*A mi mamita, mi segundo gran amor, quien con su tierna mirada puede llenar el vacío de mis días, en sus ojos y sonrisa puedo ver un destello de la belleza de mi Amado Dios, gracias por tus brazos llenos de amor que han vendado mis heridas, no hay melodía más hermosa que el oír los latidos de tu corazón, llenas de armonía mis días con tu dulce voz, el primer poema que leí fue la dulzura de tu alma reflejada en tus ojos, tengo mi cielo en ellos, medicina para mi alma es verte reír. Nunca terminaré de agradecerte, el presentarme a mi Gran Amor, gracias por tus rodillas dobladas, tus oraciones constantes, tus lágrimas, esas piedras preciosas derramadas a los pies del Maestro rogando por nosotros. Mujer virtuosa, tu estima sobrepasa al de las piedras preciosas, no hay palabras suficientes que puedan describir lo maravillosa que eres, ni la belleza que guarda tu alma, ni para inmortalizar mi profunda gratitud al Señor por otorgarme el privilegio de que seas mi mami.*

*A mi papá, gracias por el apoyo, paciencia, y esfuerzo, valoro mucho cada día y cada recuerdo que forjaron mi carácter, me hicieron madurar y hacerme fuerte. Tu ejemplo de ineludible lucha admiraré siempre.*

*A mi ñañito, gracias por ser mi héroe y ejemplo a seguir, por tu amor y apoyo incondicional, por cuidarme y querer siempre lo mejor para mí, por tu protección y guía, gracias por tus consejos oportunos, tus dulces mimos, ocurrencias y risas. Sonrías como pocos en este mundo y eso es realmente hermoso. Sin saberlo has pintado de colores muchos de mis días grises. Eres uno de los tesoros más valiosos y hermosos que Dios me ha regalado. Gracias por iluminar mi vida con tu presencia. Quizá no lo diga a diario, pero te amo y admiro inmensamente.*

*A mi ñaña Zoily, mi segunda mamá gracias por su amor, cariño y apoyo. A mis primos, mis ñaños Dany y Xavy, pero en especial a mi ñaña Paty quien fue mi hermana, mi amiga y confidente, no sabes la falta que me haces, pero algún día podré abrazarte como antes, mientras tanto envío besos al cielo para ti, la luz que me dejaste siempre brillará.*

*Al Doctor Paul Vásquez por permitirme realizar este trabajo de titulación bajo su acertada guía, por su paciencia, ayuda y apoyo, además por ser un gran maestro y ejemplo a seguir.*

*A la Escuela Politécnica Nacional y a todos los maestros quienes nos han ayudado a pintar nuestros sueños impartiéndonos sus conocimientos, gracias totales.*

*A todas las personas que conocí en esta etapa de mi vida, quienes me brindaron su amistad incondicional, su tiempo, ayuda y paciencia, la U no hubiese sido la misma sin ustedes, llevan un lugar muy importante en mi corazón.*

# ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
1 INTRODUCCIÓN .....	10
1.1 OBJETIVOS .....	11
1.2 ALCANCE .....	12
1.3 MARCO TEÓRICO.....	13
1.3.1 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.....	13
1.3.1.1 BREVE RESEÑA HISTÓRICA .....	14
1.3.1.2 TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS .....	15
1.3.1.3 COMPONENTES VEHÍCULOS ELÉCTRICOS .....	18
1.3.1.4 CONCEPTO V2G (Vehicle-To-Grid) .....	19
1.3.1.5 INFRAESTRUCTURA REQUERIDA PARA V2G.....	21
1.3.2 DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	22
1.3.3 ESQUEMAS TARIFAS ELÉCTRICAS.....	23
1.3.3.1 COSTOS Y TARIFAS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	24
1.3.3.2 ESQUEMA TARIFARIO DE BANDAS HORARIAS .....	25
2 METODOLOGÍA.....	28
2.1 SECCIÓN 1: ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA.....	29
2.1.1 DESCRIPCIÓN DE SISTEMA DE PRUEBA.....	30
2.1.2 CURVA DE DEMANDA BASE DE USUARIOS .....	30
2.1.3 ESQUEMA TARIFARIO PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS .....	31
2.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS VEs DE LA FLOTA .....	32
2.2 SECCIÓN 2: SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBA INCORPORANDO VEs.....	32
2.2.1 PERFIL DE MOVILIDAD DE LOS USUARIOS.....	32
2.2.2 CURVA DE DEMANDA DE LOS USUARIOS INCORPORANDO VEs.....	33

2.2.3	SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBA .....	35
2.2.3.1	DISTRIBUCIÓN DE CARGA.....	35
2.2.3.2	FLUJOS DE POTENCIA .....	38
2.2.3.3	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	39
2.3	SECCIÓN 3: SELECCIÓN DE ALTERNATIVA MÁS ÓPTIMA .....	42
2.3.1	EVALUACIÓN TÉCNICA .....	42
2.3.1.1	FACTOR DE CARGA .....	42
2.3.1.2	FACTOR DE UTILIZACIÓN.....	43
2.3.1.3	NIVELES DE VOLTAJE .....	43
2.3.1.4	PÉRDIDAS DE ENERGÍA.....	44
2.3.2	EVALUACIÓN FINANCIERA.....	45
2.3.2.1	VALOR ACTUAL NETO (VAN) .....	45
2.3.2.2	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) .....	45
2.3.2.3	RELACIÓN BENEFICIO/COSTO.....	46
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	47
3.1	SECCIÓN 1: ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA.....	47
3.1.1	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBA .....	47
3.1.2	CURVA DE DEMANDA BASE DE USUARIOS .....	48
3.1.3	ESQUEMA TARIFARIO PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS .....	52
3.1.4	CARACTERÍSTICAS DE LOS VEs DE LA FLOTA ELÉCTRICOS.....	54
3.1.4.1	NISSAN.....	55
3.1.4.2	TESLA .....	56
3.1.4.3	HONDA .....	57
3.1.4.4	BMW.....	58
3.1.4.5	RENAULT.....	59
3.1.4.6	DAIMLER (MERCEDES-BENZ).....	61
3.2	SECCIÓN 2: SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBA INCORPORANDO VEs.....	62
3.2.1	PERFIL DE MOVILIDAD DE LOS USUARIOS.....	62
3.2.1.1	PREGUNTA 1.....	62
3.2.1.2	PREGUNTA 2.....	63
3.2.1.3	PREGUNTA 3.....	64
3.2.1.4	PREGUNTA 4.....	65
3.2.1.5	PREGUNTA 5.....	66
3.2.1.6	PREGUNTA 6.....	67

3.2.1.7	PREGUNTA 7.....	68
3.2.2	CURVA DE DEMANDA DE LOS USUARIOS INCORPORANDO VEs.....	69
3.2.3	SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBA .....	84
3.2.3.1	SISTEMA DE PRUEBA SIN LA INCORPORACIÓN DE VEs.....	85
3.2.3.2	SISTEMA DE PRUEBA CON ALTA PENETRACIÓN DE VEs.....	87
3.2.3.3	SISTEMA DE PRUEBA CON MODERADA PENETRACIÓN DE VEs.....	90
3.2.3.4	SISTEMA DE PRUEBA CON BAJA PENETRACIÓN DE VEs.....	92
3.3	SECCIÓN 3: SELECCIÓN DE ALTERNATIVA MÁS ÓPTIMA .....	95
3.3.1	EVALUACIÓN TÉCNICA .....	95
3.3.2	EVALUACIÓN FINANCIERA.....	96
3.4	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	100
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	102
4.1	CONCLUSIONES.....	102
4.2	RECOMENDACIONES .....	104
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	105
	ANEXOS .....	109

## RESUMEN

En el presente proyecto técnico se desarrolla una investigación teórica sobre los vehículos eléctricos con tecnología V2G (Vehicle to grid), se identifica los diferentes equipos que componen esta tecnología y se describen los beneficios que esta tecnología presenta a la ciudadanía para el manejo de la energía eléctrica de redes inteligentes.

Mediante el desarrollo de una encuesta se realiza una investigación descriptiva para conocer los hábitos en el uso de vehículos eléctricos de los ciudadanos quiteños, así como la predisposición de migrar en el mediano plazo a la tecnología V2G de los vehículos eléctricos. Se analiza la curva de demanda base que presenta la red de distribución, así como el esquema tarifario propicio para la compra y venta de energía eléctrica utilizando vehículos eléctricos.

Mediante el uso de herramientas computacionales se desarrolla el modelamiento de la curva de demanda de energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de los vehículos eléctricos adquiridos por los ciudadanos. La primera curva tiene como hipótesis una alta penetración de vehículos eléctricos en la red de distribución, la segunda curva representa una red con una penetración de vehículos eléctricos moderada y la última curva nos indica el escenario en el cual existe una baja penetración de vehículos eléctricos.

Se procedió a unificar la curva de demanda base de la red de distribución junto con la curva de demanda modelada para los vehículos eléctricos, para finalmente simular en el programa computacional CYME la red de distribución y tabular los resultados proporcionados por el programa.

En el presente proyecto técnico se concluye que al incorporar vehículos eléctricos a la red y estos interactuar de una manera correcta, los factores técnicos de la red de distribución mejoran en sus valores, todo esto trae consigo una gran inversión de parte de la empresa distribuidora sin embargo se puede observar en el análisis financiero que los proyectos resultan sumamente rentables.

**PALABRAS CLAVE:** red de distribución, vehículos eléctricos, curva de demanda

## **ABSTRACT**

In this technical project, a theoretical investigation is developed on electric vehicles with V2G (Vehicle to grid) technology, the different equipment that make up this technology is identified and the benefits that this technology presents to the public for energy management are described smart grid power.

Through the development of a survey, a descriptive investigation is carried out to know the habits of the Quito citizens in the use of electric vehicles, as well as the predisposition to migrate to V2G technology in electric vehicles in the medium term. The base demand curve presented by the distribution network is analyzed, as well as the favorable tariff scheme for the purchase and sale of electrical energy using electric vehicles.

Through the use of computational tools, the modeling of the electrical energy demand curve necessary for the operation of electric vehicles purchased by citizens is developed. The first curve assumes a high penetration of electric vehicles in the distribution network, the second curve represents a network with a moderate penetration of electric vehicles and the last curve indicates the scenario in which there is a low penetration of electric vehicles.

The base demand curve of the distribution network was unified together with the demand curve modeled for electric vehicles, to finally simulate the distribution network in the computer program CYME and tabulate the results provided by the program.

In this technical project it is concluded that by incorporating electric vehicles to the network and they interact in a correct way, the technical factors of the distribution network improve in their values, all this brings with it a large investment on the part of the distribution company without However, it can be seen in the financial analysis that the projects are extremely profitable.

**KEYWORDS:** distribution network, electric vehicles, demand curve

# 1 INTRODUCCIÓN

Las grandes ciudades son las que definen el futuro mundial, las Naciones Unidas prevén que para el año 2050 más del 70% de la población mundial vivirá en grandes urbes, a medida que las ciudades crecen resulta cada vez más vital encontrar mejores formas de gestionar estas poblaciones y los servicios que requieren, las grandes ciudades consumen 2/3 de la energía mundial y producen una proporción similar de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> siendo uno de los mayores problemas sociales actuales que preocupa a todos los países del mundo (alcanzará los 1.5°C en el año 2030); esto sitúa a las ciudades en el centro del debate del cambio climático; es por ello que cada día se piensa en cómo desarrollar una infraestructura eléctrica que sea rentable y mantenga nuestra calidad de vida y cómo integrar más fuentes de energías renovables para poder reducir el impacto de nuestras ciudades en el medio ambiente [1].

El sector de transporte juega un papel importante para combatir el calentamiento global, este sector en América Latina y el Caribe representa más del 20% de las emisiones de CO<sub>2</sub> totales. En este contexto, la movilidad eléctrica es una dirección a la que los países están apuntando y que más allá del impacto en la disminución de emisiones, presenta el desafío de replantear el uso de la matriz energética [2].

En la lucha por disminuir los niveles de contaminación, los gobiernos han dado lugar a regulaciones cada vez más estrictas respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero sobre todo de fuentes móviles, para desalentar el uso del automóvil particular como medio de transporte. Es por esto que las empresas automotrices han tenido que enfocar buena parte de sus recientes esfuerzos en producir vehículos más eficientes en términos de emisión de contaminantes, teniendo como consecuencia el resurgimiento del tema del vehículo eléctrico (EV) a inicios del siglo XXI [2].

Los fabricantes de automóviles (como Tesla Motors o BMW) están acelerando sus planes de lanzamiento de vehículos eléctricos, en parte para cumplir con regulaciones cada vez más estrictas. Se estima que para 2022 habrá más de 500 modelos de EVs diferentes disponibles. La participación eléctrica en las ventas totales de vehículos sigue siendo pequeña, pero está aumentando rápidamente. Para 2040, más de la mitad de todos los vehículos vendidos serán eléctricos [3].

La evolución de los EVs para permitir la carga desde el sistema eléctrico del país en las próximas décadas, es asumida por mucho inevitable [4]. Existen grandes expectativas con los vehículos eléctricos. Para un correcto funcionamiento es necesario, por parte de las empresas distribuidoras, la inversión e instalación de acometidas especiales con

medidores bidireccionales en los hogares de los usuarios finales para la conexión de los vehículos eléctricos (cargar o descargar) a la red de distribución eléctrica. Realizar estudios de viabilidad económica de estas inversiones es fundamental para los gobiernos, así como para las distribuidoras de energía eléctrica. En efecto, si no se analiza el impacto de su introducción, podrían ocurrir problemas inesperados en las redes eléctricas de distribución, así como en la economía del sector eléctrico que, a pesar de un aumento modesto de las ventas de energía eléctrica, la demanda máxima creciente requerirá fuertes inversiones de capital adicionales. De no producirse tales inversiones, conducirá a un serio deterioro de la seguridad operativa del sistema eléctrico y la confiabilidad del suministro [5].

Para evitar la situación a la que se enfrentaría el sistema de distribución de energía eléctrica una vez que se introdujeran cantidades sustanciales de EVs, las distribuidoras de energía eléctrica necesitan desarrollar nuevas estrategias para controlar el consumo horario de energía eléctrica:

1. Controlar el momento del día, la duración y la cantidad de energía requerida, para cargar las baterías de los EVs.
2. Controlar el momento del día, la duración y la cantidad de energía requerida, para descargar las baterías de los EVs a fin de cubrir necesidades operativas de potencia o energía [5].

Con la realización del presente proyecto técnico se incrementará los conocimientos respecto del comportamiento que tendría la inserción de flotas de vehículos eléctricos en un sistema eléctrico de distribución, así como los beneficios de las flotas en la red disminuyendo las pérdidas técnicas de energía eléctrica, la cargabilidad de los alimentadores y transformadores principales, los costos de mantenimientos (inclusive pudiendo llegar a diferirse inversiones en expansión) y en la disminución de la demanda en horas pico y de valle, en caso de existir una normativa adecuada para la gestión de descarga y carga, respectivamente, de los dispositivos de almacenamiento de los vehículos eléctricos. Normativa con precios diferenciados horarios para carga y descarga.

## **1.1 OBJETIVOS**

El objetivo general de este Proyecto Técnico es:

- Analizar técnica y económicamente el impacto de la integración de flotas de vehículos eléctricos en sistemas modernos de distribución de energía eléctrica mediante la simulación de la implementación de la estrategia “vehicles to grid” en Ecuador.

Los objetivos específicos del Proyecto Técnico son:

- Realizar una investigación bibliográfica sobre vehículos eléctricos EVs y sus beneficios en los sistemas de distribución a fin de definir indicadores técnicos y económicos que permitan evaluar el desempeño del sistema al incorporar EVs.
- Evaluar el desempeño de un sistema de distribución de prueba a través de la estimación de los indicadores establecidos.
- Incorporar al modelo de evaluación de desempeño, diferentes niveles de penetración de flotas de EVs, y estimar los indicadores técnico-económico establecidos para cada caso.
- Definir el nivel de penetración óptimo de flotas de vehículos eléctricos en un sistema de distribución de prueba mediante la selección del mejor escenario de desempeño de flotas de EVs.
- Proponer un conjunto de lineamientos y aspectos a ser considerados para la integración exitosa de la estrategia vehicles to grid en Ecuador.

## **1.2 ALCANCE**

El alcance del presente trabajo de titulación está delimitado en el análisis técnico-económico de un sistema eléctrico de distribución de prueba en el cual predomina la demanda residencial. Como primera etapa se realizará una descripción completa acerca de los vehículos eléctricos (Vehicle-to-grid), para identificar todos sus componentes, así como los tipos de vehículos eléctricos que actualmente se encuentran en el mercado. Con esto último se realizará una selección preliminar de los tipos de vehículos (capacidad de almacenamiento, costos, vida útil, tiempos de carga y descarga) que pueden formar parte de las flotas de vehículos eléctricos a analizar.

Se estudiará brevemente el mercado de compra y venta de energía eléctrica existente actualmente en el Ecuador (precio de la energía eléctrica por generación, transmisión y distribución), para asumir un esquema tarifario en estas transacciones que beneficie el uso de vehículos eléctricos. Se propone el esquema tarifario de bandas horarias, en el cual la energía tendrá mayores precios en horas pico comparados con el resto de las horas del día, incentivando la carga de los vehículos eléctricos fuera de las horas pico de demanda. Y se propone un nivel tarifario para venta de energía eléctrica desde los vehículos eléctricos (precios inferiores al comprado al SNI) tal que incentive la descarga de los vehículos

eléctricos en las horas pico de la curva de demanda. Y con esa potencia y energía, mejorar el factor de carga del sistema y, a la vez, aliviando el sistema de distribución.

Se realizará el modelamiento del sistema de distribución de prueba, sin la presencia de los EVs, a fin de evaluar indicadores de operación actuales del sistema de distribución de prueba, referentes a regulación de voltaje, pérdidas de energía, factor de carga y, en general, los costos operativos.

En base a la información de la demanda de energía del sistema de distribución y las hipótesis del comportamiento de los vehículos eléctricos de la flota (horas diarias de disponibilidad de uso, límites inferiores y superiores en su capacidad de almacenamiento, estado de carga de las baterías de los EVs –SOCs-, tiempos de carga y descarga, entre otras) se proponen diferentes casos de penetración de flotas de vehículos eléctricos, considerando la existencia de un esquema tarifario de incentivo a la venta de excedentes de energía eléctrica por parte de los clientes. Permitiendo, por un lado, reducir la demanda pico del sistema y, por otro lado, aumentarla en horas en las cuales la curva de demanda presenta valles.

Una vez se haya modelado el sistema de distribución de prueba y el comportamiento que tendrá la demanda de energía eléctrica durante el día, se verifica la viabilidad técnica mediante la simulación del sistema de distribución con el nuevo comportamiento de la demanda eléctrica, para encontrar y analizar los cambios que tendrán los indicadores seleccionados para evaluar el desempeño del sistema de distribución de prueba. Finalmente, una vez evaluado el impacto técnico, se procede a evaluar el impacto económico, con la determinación y análisis de flujos de fondos y sus indicadores financieros. Para la validez económica, además de las transacciones directas realizadas en la compra y venta de energía desde las flotas de vehículos eléctricos, se considerará los ahorros que presentará la distribuidora al reducir sus indicadores de operación y sus inversiones respecto a mantenimientos o construcciones de nuevas obras. Se evaluarán diferentes niveles de penetración a fin de seleccionar el adecuado para el sistema de distribución analizado.

## **1.3 MARCO TEÓRICO**

### **1.3.1 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

Se define al vehículo eléctrico como el medio de transporte que es impulsado por uno o más motores eléctricos acoplados dentro del vehículo, que permite la movilización de personas, animales o cargas [6].



**Figura 1.1.** Modelos de vehículos eléctricos [7].

### 1.3.1.1 BREVE RESEÑA HISTÓRICA

A diferencia de lo que cree la gran mayoría de personas, el vehículo eléctrico no es un descubrimiento actual, estos son anteriores a los vehículos convencionales propulsados por gasolina llegando a tener más de cien años de antigüedad [8]. En la Tabla 1.1 se puede apreciar los principales hitos de la historia del vehículo eléctrico a lo largo de la historia.

**Tabla 1.1** Principales Hitos Históricos [7], [9]–[12]

<b>Año</b>	<b>Acontecimiento</b>
1828	Ányos Jedlik construyó un prototipo de vehículo a pequeña escala movido por un motor eléctrico diseñado por él mismo.
1834	Thomas Davenport desarrolló un vehículo eléctrico (pequeño tren con una vía circular) movido por una batería.
1832-1839	Robert Anderson construyó un vehículo impulsado por electricidad (fuente de energía una batería no recargable).
1835	Stratingh y Becker desarrollaron un vehículo accionado por baterías no recargables (precedente de los vehículos actuales).
1837	Robert Davidson logró mover una locomotora (6 km/h), sin usar carbón ni vapor.
1842	Davidson construyó un vehículo eléctrico con cuatro ruedas (llamado Galvani), que usaba como fuente de energía baterías de zinc-ácido, aunque no podía transportar pasajeros.
1845	Gaston Planté inventó la batería recargable de ácido-plomo (usado en la actualidad). Su principal ventaja es que puede mantener una corriente eléctrica durante un largo periodo de tiempo.
1888	Andreas Flocken construye un vehículo eléctrico con cuatro ruedas.
1890	Thomas Alva Edison inventó una batería de níquel
1898	Se construyeron y comercializaron los primeros modelos de vehículos eléctricos en Londres y Nueva York. Los motores eran de corriente continua, conectados a unas baterías.
1899	Primer vehículo eléctrico (Jamais Contente) alcanza la velocidad de 100 km/h.

1920	Los primeros coches de gasolina aparecieron, sin embargo, con grandes desventajas en comparación con los vehículos eléctricos (ruidosos, producían un desagradable y fuerte olor a gasolina, difíciles de conducir, precio).
1920-1969	Con el boom del petróleo, las limitaciones técnicas de los sistemas de almacenamiento de energía (corta autonomía) y el gran desarrollo tecnológico de los motores de combustión interna. Hizo que los vehículos eléctricos se empiecen a estancar y a ser reemplazados por los vehículos a gasolina.
1970	Comienza un nuevo resurgir del vehículo eléctrico. La crisis energética produce un aumento del precio de la gasolina. La sociedad comienza a tomar conciencia del cambio climático. El resurgir es al principio tímido, pero da lugar a modelos desde vehículos utilitarios hasta autobuses e incluso camiones.
1996	En el Congreso de los EE. UU. se recomienda la vuelta al vehículo eléctrico como freno a la contaminación. General Motors presenta EV-1.
Siglo XXI	Se ha desarrollado la electrónica que permite el control de velocidad de los motores de alterna y el frenado regenerativo. Esto ha aumentado enormemente la eficiencia de los motores eléctricos, que tienen unas prestaciones y un rendimiento muy superior a los motores de combustión interna, aparte de menor precio, mantenimiento y mayor duración.

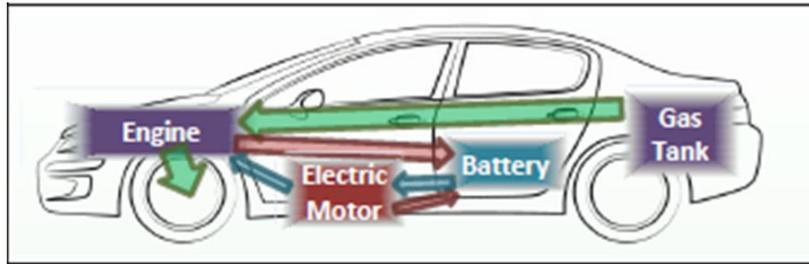
La evolución tecnológica en los últimos años respecto a los componentes que conforman el vehículo eléctrico ha sido espectacular, permitiendo la aplicación de los motores de inducción, aumentando enormemente la eficiencia de los motores eléctricos. Por otro lado, esta evolución ha permitido mejorar el sistema de control de la velocidad (ajuste más fino y eficaz) con el uso de rectificadores de silicio y tiristores. Los transistores de potencia permitieron disminuir aún más las pérdidas producidas en la conmutación con una circuitería simple [13]. Estas mejoras conseguirán que los vehículos eléctricos sean una alternativa a considerar en el corto y mediano plazo, y con esto el vehículo convencional comenzará a decaer.

### 1.3.1.2 TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

La clasificación de los vehículos eléctricos es realizada acorde a la tecnología que utilizan, entre los cuales se encuentran los siguientes:

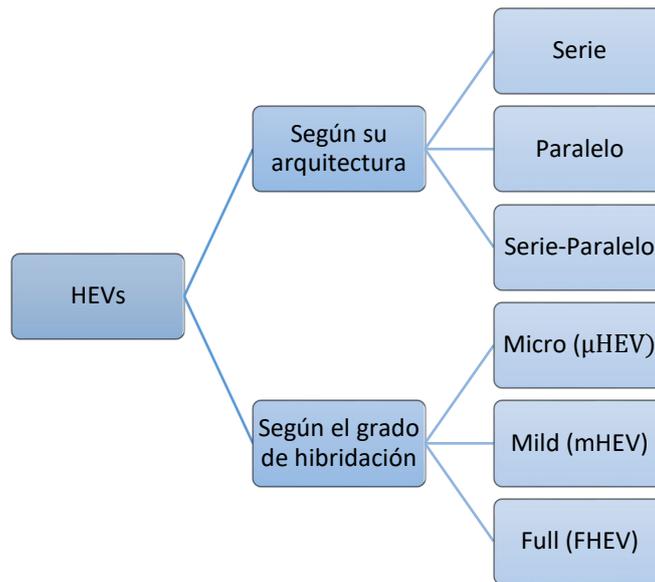
#### 1.3.1.2.1 Vehículos eléctricos híbridos (*Hybrid Electric Vehicle – HEV*)

Un HEV es un vehículo eléctrico en el cual se combina dos sistemas que consumen fuentes de energía diferentes. Las dos fuentes son: motor de combustión interna y motor eléctrico alimentado por una o varias baterías [14].



**Figura 1.2.** Vehículo eléctrico híbrido [15].

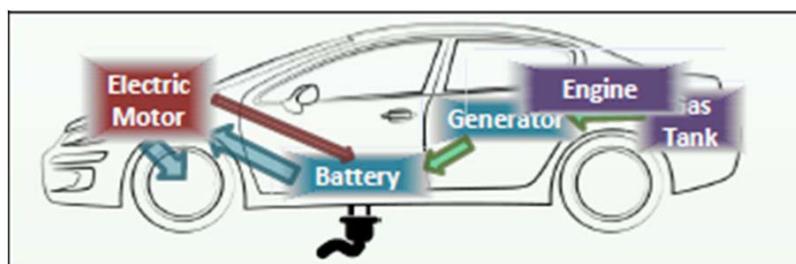
En la Figura 1.3 se resume la clasificación de los HEVs.



**Figura 1.3.** Clasificación de los HEVs [16].

### 1.3.1.2.2 Vehículos eléctricos híbridos enchufables (Plug-in Hybrid Electric Vehicle – PHEV)

Un PHEV es un vehículo eléctrico híbrido con un motor de combustión interna y un motor eléctrico alimentado por baterías, a diferencia de los HEVs en estos tipos de vehículos las baterías pueden ser cargados mediante la conexión del vehículo a la red eléctrica [17].



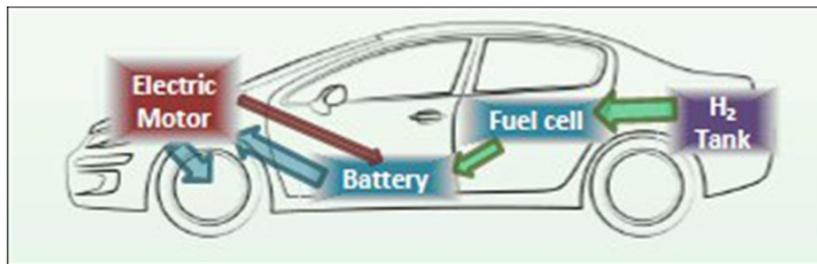
**Figura 1.4.** Vehículo eléctrico híbrido enchufable [15].

#### 1.3.1.2.3 Vehículos eléctricos de autonomía extendida (Extended-Range Electric Vehicle – EREV)

Un E-REV es un vehículo eléctrico de largo alcance que tiene características constructivas similares a los PHEVs, en este caso el motor eléctrico es quien proporciona toda la potencia motriz, y el motor de combustión interna está presente únicamente para generar energía eléctrica adicional. Los E-REVs disponen de baterías con mayor autonomía (más grandes) [18].

#### 1.3.1.2.4 Vehículos eléctricos de pila de combustible (Fuel Cell Electric Vehicle – FCEV)

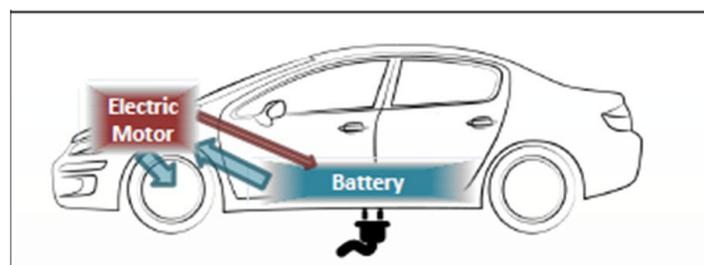
Un FCEV es un vehículo eléctrico en donde su fuente principal de energía son las pilas de combustión. Una celda de combustible es un dispositivo 'electroquímico' que transforma la energía química de un combustible (hidrógeno, metanol, gas natural, etc.), electricidad que hará que funcione el motor [19].



**Figura 1.5.** Vehículo eléctrico de pila de combustible [15].

#### 1.3.1.2.5 Vehículos eléctricos de batería (Battery Electric Vehicle – BEV)

Un BEV es un vehículo eléctrico en donde su fuente principal de energía son las baterías. El uso de la batería reduce el consumo de gas a cero en comparación con otros, pero afecta el alcance del vehículo. Las baterías pueden ser recargadas cada vez que se agoten de forma similar a los de los PHEVs, con la conexión del vehículo a la red eléctrica [15].



**Figura 1.6.** Vehículo eléctrico de batería [15].

Para facilitar la comprensión del presente proyecto de titulación, se entiende como vehículos eléctricos (EV) únicamente aquellos que utilizan para su funcionamiento las baterías como fuente de energía (BEV).

### 1.3.1.3 COMPONENTES VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Las principales partes que conforman un EV son:

#### 1.3.1.3.1 Motor Eléctrico

El motor eléctrico es el componente que transforma la energía eléctrica en energía mecánica para el desplazamiento del vehículo. Los motores utilizados en un vehículo eléctrico pueden ser de corriente continua (DC) que se alimenta directamente desde la batería o de corriente alterna (AC) que se alimentan de un inversor encargado de transformar la corriente directa de la batería en corriente alterna [20], [21].

#### 1.3.1.3.2 Batería

La batería es el componente en el cual se almacena la energía eléctrica en forma de energía química, utilizada por los dispositivos y equipos de un vehículo eléctrico. Lo esencial en las baterías es el manejo de altas potencias, gran cantidad de almacenamiento de energía, aspecto (compactas y pequeñas) y economía. Las baterías de mayor uso en la actualidad son las baterías de Ión de Litio (Li-ion) y las baterías de Níquel–Metal Hidruro (NiMH) [21].

En los vehículos que presentan un motor eléctrico de corriente continua, su batería se conecta directamente al motor y en los vehículos que presentan un motor eléctrico de corriente alterna, su batería se conecta a un inversor, equipo que transforma la corriente continua en corriente alterna [22]. Las principales características a tener en cuenta en la selección de una batería son [23]:

- Voltaje de operación (V). - es el voltaje de referencia a la que se ha de conectar una batería.
- Capacidad (Ah). - es el valor de la intensidad de corriente eléctrica, multiplicada por el tiempo durante el cual puede proporcionarla.
- Intensidad máxima (A). - muestra la cantidad máxima de amperios que nos puede suministrar la batería.
- Velocidad de carga (min)
- Ciclo de vida. - Es el número de ciclos (carga y descarga) que una batería puede manejar.
- Autonomía
- Vida útil

#### 1.3.1.3.3 Inversor

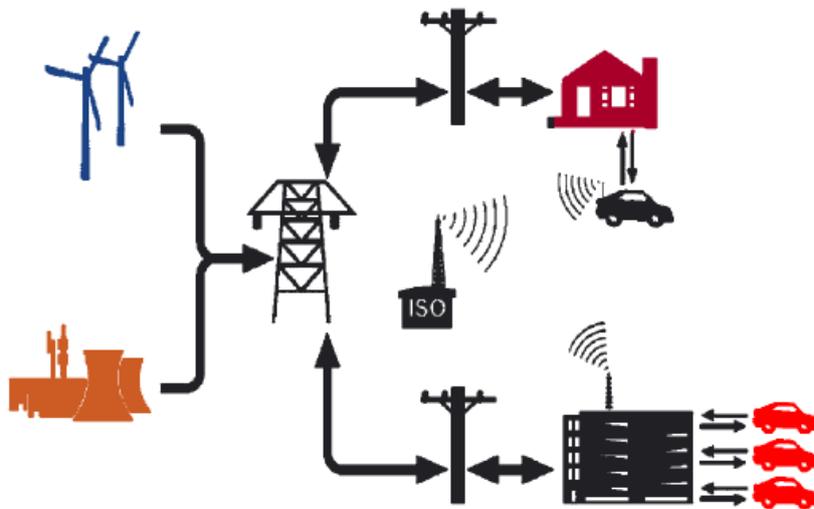
El sistema inversor es aquel componente que realiza la transformación de corriente AC de la red eléctrica a corriente DC utilizada para la recarga de las baterías que se han descargado [20], [23].

#### 1.3.1.3.4 Cargador y Conectores

Para recargar las baterías de los vehículos eléctricos, se hace uso de enchufes normalizados ubicados en la carcasa de los vehículos [20], [23].

#### 1.3.1.4 CONCEPTO V2G (Vehicle-To-Grid)

El concepto básico de la tecnología V2G es que el vehículo eléctrico intercambia energía con la red eléctrica mientras está estacionado [24]. Este flujo de energía es de forma bidireccional, comportándose como carga cuando el vehículo consume energía eléctrica de la red para recargar sus baterías y comportándose como fuente de energía cuando el vehículo transfiere energía eléctrica hacia la red (controlada por los operadores de la red) acorde a las necesidades que presenten las redes eléctricas [25].



**Figura 1.7.** Concepto de tecnología V2G [26].

Con la tecnología V2G, se explotan tanto la capacidad de control de carga EV como la capacidad de almacenamiento. Es el modo de operación más exigente para los vehículos eléctricos y, por lo tanto, se deben proporcionar mayores incentivos económicos a los propietarios para incentivar su uso [27]. Algunos beneficios que se pueden llevar a cabo con la tecnología V2G para empresas distribuidoras son [5], [27], [28]:

- Reducción de los picos de demanda eléctrica: Durante las horas pico la energía almacenada en las baterías de los EVs y que no es requerida para propósitos de

movilidad, es usada para suministrar energía a la red, evitando el uso de generadores más caros que la operación de V2G.

- Regulación de voltaje y frecuencia: Las tasas de carga y descarga rápida de las baterías de los EVs permiten a los vehículos responder rápidamente a cambios en los flujos de potencia de la red eléctrica, suministrando o consumiendo potencia según las necesidades de la red y condiciones de movilidad de los EVs.
- Incremento del factor de carga: Entregando energía a la red durante las horas pico de demanda diarios y recargando las baterías durante las horas de baja demanda (horas no pico).
- Gestión de inversiones constructivas y operativas: Mediante la inyección de energía almacenada en las baterías de los EVs a la red, se puede mejorar condiciones de operación respecto a pérdidas de energías o caídas de voltaje, además de evitar que los alimentadores principales del sistema eléctrico se sobrecarguen, favoreciendo al aplazamiento de inversiones en la infraestructura de la red; ya que se evitaría realizar planes de reforzamiento para aumentar la carga instalada del operador.

Uno de los principales problemas que tendrán las empresas distribuidoras con la tecnología V2G en su inicio, es la repotenciación de la infraestructura eléctrica para la correcta integración de los puntos de conexión de la red hacia los vehículos eléctricos.

Algunos beneficios que se pueden llevar a cabo con la tecnología V2G para consumidores finales son [29],[30]:

- Costos de compra de vehículos eléctricos bajos, con suficiente autonomía para uso cotidiano.
- Reducción en gastos de mantenimiento.
- Reducción de planillas tarifarias: Los consumidores finales pueden recargar las baterías durante periodos de menor demanda, donde el precio de energía es bajo, y utilizar la energía almacenada para el consumo propio cuando los costes son altos.
- Venta de energía eléctrica a empresas distribuidoras: Los consumidores finales pueden vender la energía almacenada en las baterías de los vehículos eléctricos a la empresa distribuidora local, generando con esto ingresos económicos al hogar.

Una de las principales desventajas que tendrán los consumidores finales con vehículos eléctricos que cuenten con tecnología V2G, es la vida útil de las baterías de los vehículos eléctricos, siendo esta reducida comparada con un vehículo eléctrico normal.

### 1.3.1.5 INFRAESTRUCTURA REQUERIDA PARA V2G

#### 1.3.1.5.1 Conexión a la Red Eléctrica

Los EVs sin tecnología V2G ya deben tener una conexión con la red eléctrica para la recarga de sus baterías, es por ello que agregar capacidad V2G requiere poca o ninguna modificación en las estaciones de carga o puntos de conexión convencionales de los vehículos con la red eléctrica y ninguna modificación en los cables o conectores. Sin embargo, la electrónica de potencia de los EVs debe permitir tanto la recarga de las baterías de los EVs como la inyección de energía desde los vehículos a la red eléctrica [5], [31].

Los niveles de carga fueron estandarizados por la SAE (Society of Automotive Engineers). En la Tabla 1.2 se evidencian los niveles de carga existentes.

**Tabla 1.2** Características de los puntos de carga [32].

Nivel de carga	Nivel de voltaje de conexión	Potencia (kW)	Tiempo de Carga
AC Nivel 1	120 V	1.4/1.9	17 h
AC Nivel 2	240 V	19.2	7/3.5 h
DC Nivel 1	200-450 V	40	0.15-1.44 h
DC Nivel 2	200-450 V	100	0.2-0.58 h

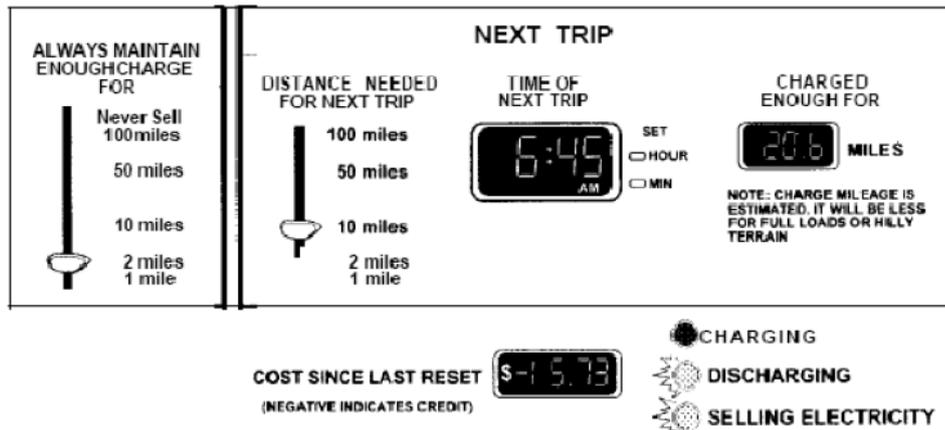
#### 1.3.1.5.2 Medidor Bidireccional

Una vez los EVs estén conectados a la red es necesario el uso de medidores que puedan contabilizar tanto la energía que el vehículo suministra a la red, como la energía utilizada para la recarga de las baterías de los vehículos. Los medidores inteligentes bidireccionales permiten esta contabilización, deben ser instalados junto con la acometida especial en los hogares suponiendo costos adicionales de instalación y cableado [5], [31].

#### 1.3.1.5.3 Control y Comunicaciones

El sistema de control y comunicaciones en la tecnología V2G permite que el operador de la empresa distribuidora solicite y manipule en cualquier momento acorde a sus necesidades, la energía eléctrica almacenada en la batería del vehículo conectado a la red. Generalmente por comunicación inalámbrica el vehículo eléctrico recibirá una señal del operador de la red que indica cuándo se necesita energía [5], [31].

Por otro lado, para evitar que la tecnología V2G sea visto como una amenaza en la autonomía del vehículo eléctrico, es esencial que los usuarios puedan configurar la energía que están dispuestos a ofrecer a la red eléctrica. Para lograr dicho propósito, los EVs cuentan con un controlador configurable a bordo indicando las necesidades de manejo del propietario. De esta manera, con las configuraciones realizadas se permite al usuario limitar la pérdida de rango de viaje para su vehículo [5], [31].



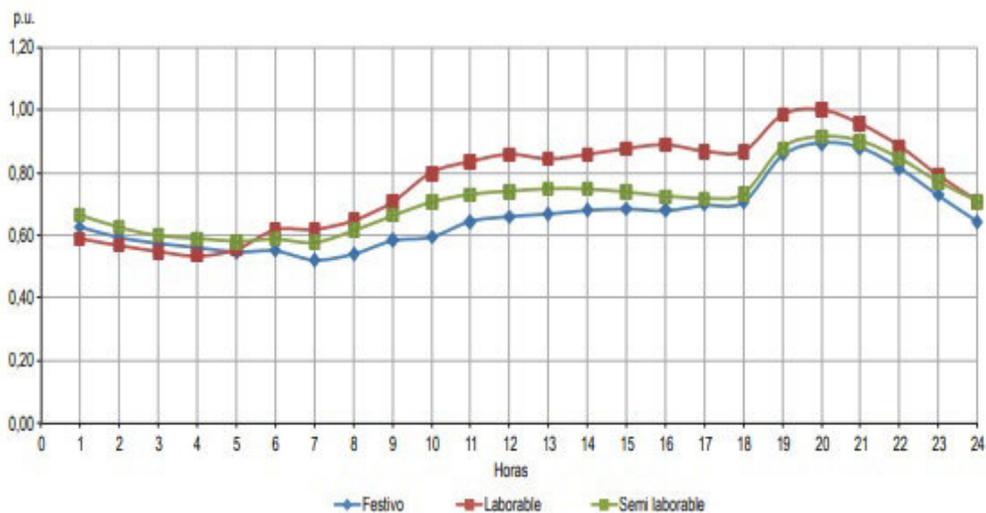
Source: Kempton and Letendre, 1997

Figura 1.8. Controlador de carga automática [5].

### 1.3.2 DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La demanda eléctrica es el valor promedio de la potencia eléctrica tomada por un usuario (residencial, industrial o comercial) en los terminales receptores durante un periodo de tiempo (intervalo de demanda), puede estar especificada en horas, días, meses o incluso años. La demanda se puede expresar en kVA, kW, kVAR, A, etc. [33].

La demanda eléctrica en el tiempo es representada gráficamente mediante la curva de demanda [34]. En la Figura 1.9 se observar un ejemplo de la curva de demanda diaria del Ecuador, que se caracteriza por tener intervalos de tiempo de una hora para cada hora del día [35].



**Figura 1.9.** Curva de demanda diaria Ecuador [35].

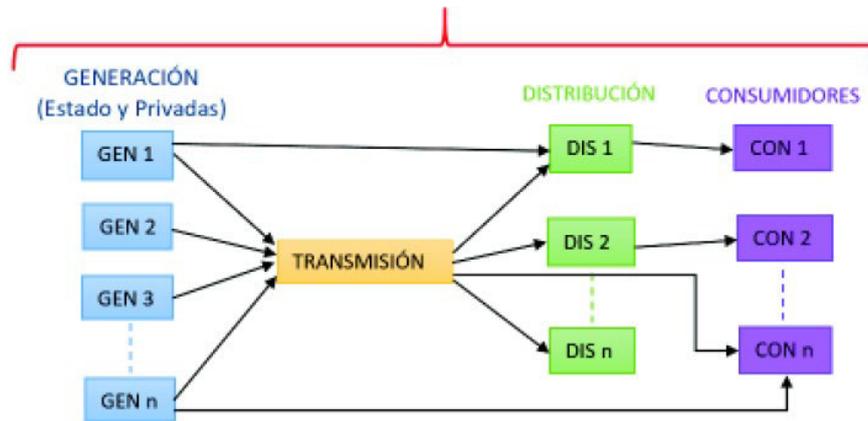
La incorporación de EVs sin tecnología V2G en la red de distribución eléctrica generará un aumento en la demanda suministrada por la distribuidora. Sin la gestión inteligente de la recarga de las baterías eléctricas de los EVs, la curva de la demanda puede llegar a experimentar un desequilibrio. Con la tecnología V2G se puede gestionar de una correcta manera la demanda para evitar desequilibrios en la curva, incluso se puede llegar a disminuir los picos de la curva de demanda y beneficiar la operación de la distribuidora.

### 1.3.3 ESQUEMAS TARIFAS ELÉCTRICAS

La tarifa eléctrica (precio de venta a clientes regulados), es el precio que debe pagar el usuario final por la energía y potencia eléctrica requerida para satisfacer sus necesidades, acorde a sus modalidades de consumo y nivel de voltaje al que se brinda el servicio [36].

Los Esquemas Tarifarios Eléctricos son la determinación adecuada y justa de las tarifas eléctricas de los diferentes grupos de usuarios finales existentes (residencial, comercial, industrial y alumbrado público). El estudio para la determinación de las tarifas eléctricas es realizado y regulado por ARC (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables). Las tarifas eléctricas están relacionadas con el tipo de mercado y tipo de contrato que las empresas tienen en los diferentes niveles de producción de la energía eléctrica [23].

En Ecuador actualmente el modelo de mercado eléctrico mayorista (MEM) es el que rige para las empresas de generación, transmisión y distribución [37]. En la Figura 1.10 se observa el esquema del modelo.



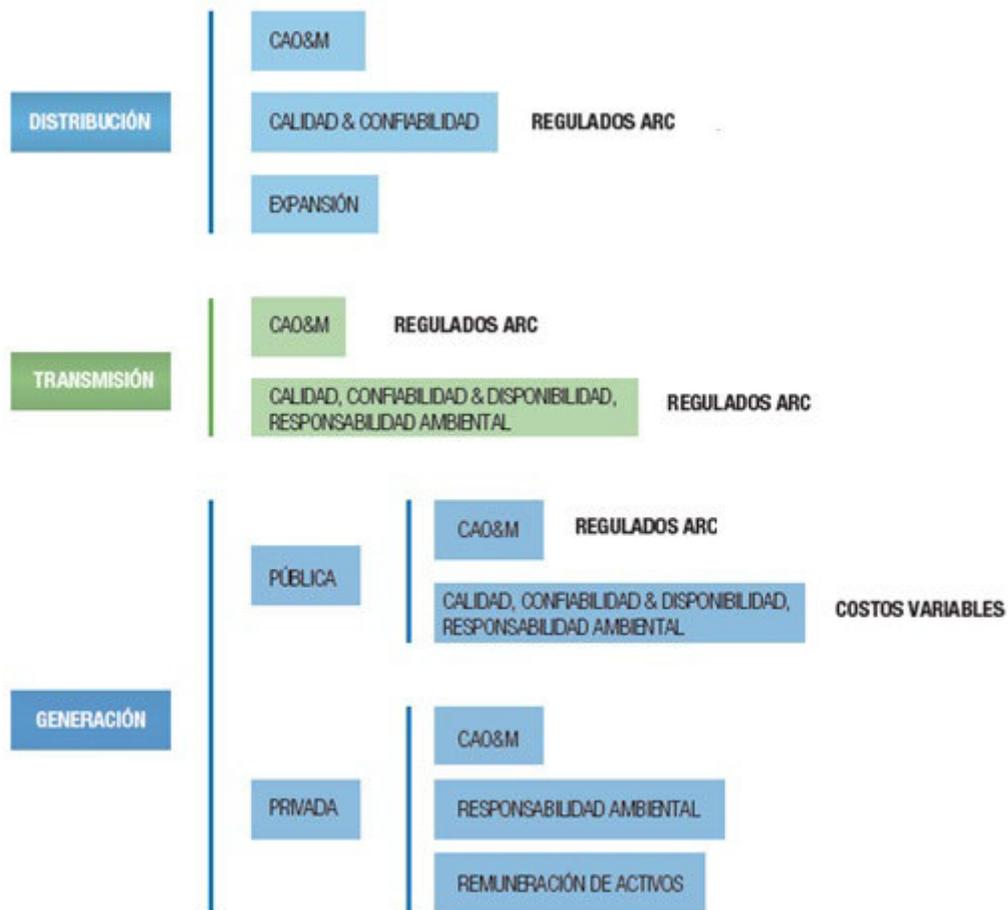
**Figura 1.10.** Modelo del Mercado Eléctrico Ecuatoriano [23].

Es el mercado integrado por generadores, distribuidores (compradores regulados) y grandes consumidores (compradores libres), donde se realizan transacciones de grandes bloques de energía eléctrica. En este modelo las diferentes empresas generadoras, pueden vender su energía a cualquier empresa distribuidora y cada una de estas se encargará de comercializar la energía al consumidor final [38].

### 1.3.3.1 COSTOS Y TARIFAS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

El costo del servicio eléctrico con el cual se determina la tarifa a los diferentes clientes corresponde al sumatorio total de la valoración económica de la producción óptima de energía eléctrica (generación), el transporte por el sistema nacional interconectado (SNI) hacia los centros de mayor concentración de carga eléctrica (transmisión), y la entrega y comercialización de la energía eléctrica a los diferentes usuarios finales (distribución y comercialización) [36].

El costo de cada actividad está dado por: costos fijos asociados a la prestación del servicio y costos variables de producción de energía presentes en las actividades de generación [36].



**Figura 1.11.** Componentes del costo de energía eléctrica [36].

En la Tabla 1.3 se presenta los costos medios totales por componente de servicio de energía eléctrica elaborados por ARC para el año 2021.

**Tabla 1.3** Costos Medios por Componente de Servicio de Energía Eléctrica [36].

Componente	Valor (USD¢/kWh)
Generación	3,43
Transmisión	0,51
Distribución	6,13
<b>Costo del Servicio</b>	<b>10,07</b>

### 1.3.3.2 ESQUEMA TARIFARIO DE BANDAS HORARIAS

Se define al esquema tarifario de bandas horarias como aquel esquema en el cual se establece un precio diferente para el kilovatio hora (kWh) en función del horario en el que se use la energía eléctrica, en vez de un precio fijo todo el día. Este tipo de esquema permiten reducir el consumo en los horarios de mayor demanda de energía (horas pico) y consumirla cuando nos cueste menos (horas valle) [39].

Ecuador cuenta con un esquema tarifario para estaciones de carga en EVs, presentado en la resolución 035/19 denominado esquema tarifario para empresas eléctricas. Este esquema se aplica para consumidores, que dispongan de uno o varios vehículos eléctricos; para lo cual, contiene un punto de red eléctrica para la carga de los EVs con un medidor con registrador de demanda horaria que permite identificar la demanda de potencia y los consumos de energía en los periodos de demanda punta, media y base [6].

La tarifa se aplica para la facturación mensual del servicio público de energía eléctrica, por la demanda de potencia y por el consumo de energía eléctrica, exclusivamente, del vehículo eléctrico; medidos por el registrador de demanda horaria instalado [6].

El consumidor final debe pagar acorde a los siguientes literales [6]:

- a. Un cargo por comercialización en USD/consumidor-mes (ver Tabla 1.4), independiente del consumo de energía.
- b. Un cargo por demanda en USD/kW-mes (ver Tabla 1.4), por cada kW de demanda mensual facturable (indicada en 1.1) como mínimo de pago, independiente del consumo de energía, multiplicado por un factor de gestión de la demanda (FGDVE) señalado en 1.2.

$$DF = \begin{cases} 0.6 * DM_{max12} & \text{si } DM < 0.6 * DM_{max} \\ DM & \text{si } DM \geq 0.6 * DM_{max} \end{cases} \quad (1.1)$$

Donde  $DF$  = Demanda facturable mensual [kW]

$DM$  = Demanda máxima registrada en el mes [kW]

$DM_{max12}$  = Demanda máxima de los últimos 12 meses incluyendo el mes de facturación [kW]

$$FGDVE = \begin{cases} 0.6 & \text{si } DM \text{ se registra en los periodos de demanda base} \\ 1 & \text{si } DM \text{ se registra en los periodos de demanda punta} \end{cases} \quad (1.2)$$

Donde  $FGDVE$  = Factor de gestión de demanda

$DM$  = Demanda máxima registrada en el mes [kW]

- c. Un cargo por energía en USD/kWh (ver Tabla 1.4), en función de la energía consumida en el período de demanda de punta de 18:00 hasta las 22:00 horas, de lunes a domingo.

- d. Un cargo por energía en USD/kWh (ver Tabla 1.4), en función de la energía consumida en el periodo de demanda media de 08:00 hasta las 18:00 horas, de lunes a viernes; equivalente al 80% del cargo en el periodo de punta (literal c).
- e. Un cargo por energía en USD/kWh (ver Tabla 1.4), en función de la energía consumida en el periodo de demanda de base de 22:00-08:00 horas de lunes a domingo y 08:00-18:00 horas, sábado y domingo; equivalente al 50% del cargo en el periodo de punta (literal c).

**Tabla 1.4** Cargos tarifarios [6].

<b>Categoría</b>	<b>Demanda (USD¢/kW-mes)</b>	<b>Energía (USD¢/kWh)</b>	<b>Comercialización (USD¢/consumidor-mes)</b>
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,05	0,08	1,414
L-D 18:00 hasta 22:00		0,1	
L-D 22:00 hasta 08:00		0,05	
S-D 08:00 hasta 18:00			

## 2 METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta la metodología para analizar el impacto de la inserción de flotas de vehículos eléctricos en un sistema de distribución moderno. La metodología está separada en tres etapas las cuales son:

Sección 1: análisis de los datos de entrada que permite conocer y tabular los datos disponibles del sistema de distribución y su demanda base, que serán utilizados para las simulaciones de flujos de potencia en la siguiente sección.

Sección 2: simulación del sistema de prueba incorporando VEs en el cual se modela la curva de demanda por usuarios con la incorporación de los vehículos eléctricos proponiendo diferentes alternativas de puntos de conexión a la red y diferentes casos de niveles de penetración en dichos puntos. Se utiliza el programa CYME para modelar y simular el sistema de distribución de prueba, obteniendo como resultados voltajes, potencias, corrientes y pérdidas en los diferentes elementos del sistema de distribución de prueba.

Sección 3: selección de la alternativa más óptima en base a una comparación de indicadores técnicos proporcionados por el programa CYME e indicadores financieros calculados en función de la sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.,** se selecciona la alternativa que mejore los indicadores técnicos y disminuya los indicadores financieros.

En la Figura 2.1 y Figura 2.2 se evidencia la metodología propuesta mediante un diagrama de bloques y diagrama de flujo, cada sección contará con ciertos pasos que serán descritos a continuación.



Figura 2.1 Estructura metodología.

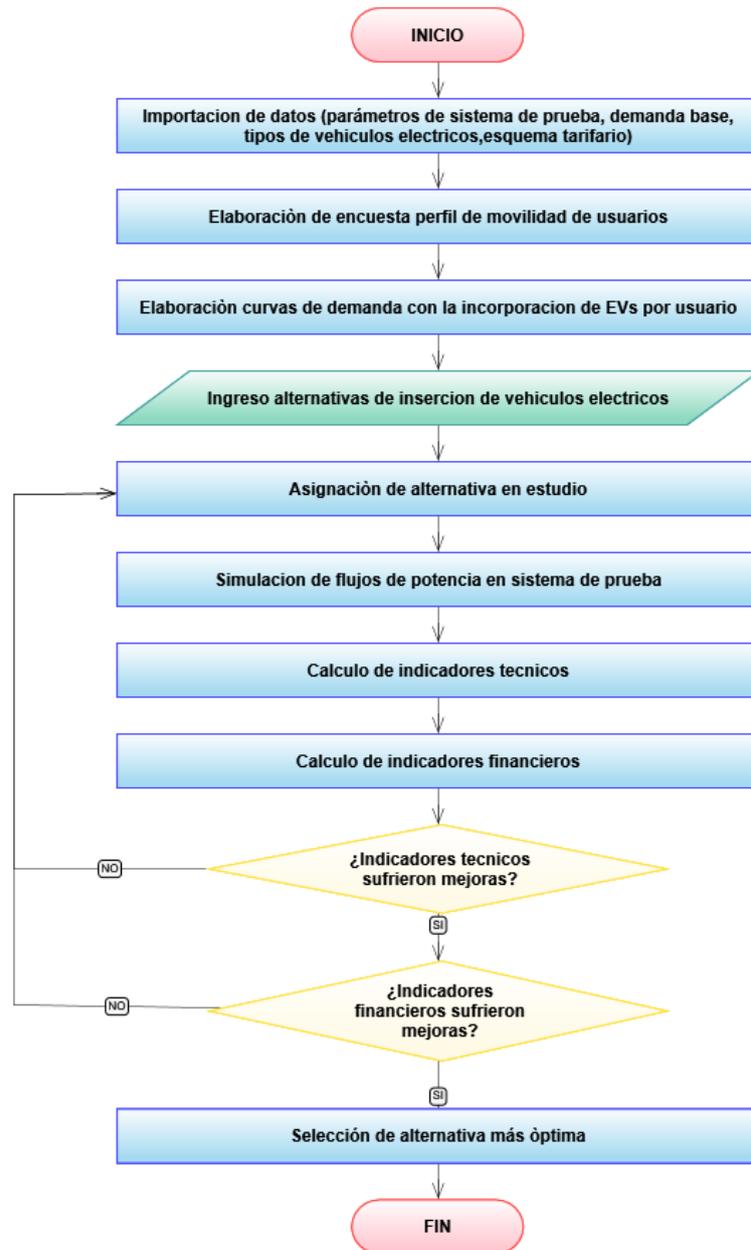


Figura 2.2 Diagrama de flujo metodología.

## 2.1 SECCIÓN 1: ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA

El objetivo principal de esta sección es conocer al sistema de prueba con el cual se trabaja en el presente proyecto de titulación, además de ordenar y tabular los datos disponibles acorde a las necesidades requeridas para la modelación y simulación del sistema de prueba y la curva de demanda de energía eléctrica incorporando EVs.

### 2.1.1 DESCRIPCIÓN DE SISTEMA DE PRUEBA

Se describen las principales características del sistema de distribución seleccionado para el proyecto técnico. Está dividida en dos fases: en la primera fase se describe la ubicación geográfica del sistema de distribución de prueba y en la segunda fase se detalla los aspectos técnicos del sistema de distribución de prueba estos son: niveles de voltaje, número de clientes, demanda por cliente, entre otros.

### 2.1.2 CURVA DE DEMANDA BASE DE USUARIOS

Una vez identificados aspectos generales del sistema de prueba, es necesario desglosar y analizar profundamente el comportamiento de la demanda de energía eléctrica del sistema de prueba sin la inserción de los vehículos eléctricos. El objetivo fundamental es identificar las horas pico y de valle, así como conocer el comportamiento de la demanda antes de la inclusión de los vehículos eléctricos para su respectiva comparación. Para el presente proyecto técnico es necesario que la demanda eléctrica esté especificada en kWh, para lograr dicho propósito se utilizarán las siguientes ecuaciones.

$$D_{E(t)} = D_P * t \quad (2.1)$$

Donde  $D_{E(t)}$  = Demanda de energía eléctrica especificada en unidades de energía [kWh]

$D_P$  = Demanda de energía eléctrica especificada en unidades de potencia [kW]

$t$  = Intervalo de tiempo de la demanda de energía eléctrica [horas]

$$D_{E(t)} = D_{E(t1)} + D_{E(t2)} + D_{E(t3)} + \dots + D_{E(tn)} \quad (2.2)$$

Donde  $D_{E(t)}, D_{E(t1)}, D_{E(t2)}, \dots, D_{E(tn)}$  = Demanda de energía eléctrica especificada en unidades de energía en un intervalo de tiempo  $t_n$  [kWh].

$t$  = Intervalo de tiempo de la demanda de energía eléctrica [horas], donde la suma de los intervalos de tiempo es igual al intervalo de tiempo total a analizar.

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n = 1 \text{ hora}$$

Dependiendo de la base de datos original, se puede utilizar las dos ecuaciones o una de las dos, la ecuación 2.1 permite la conversión de kW a kWh y la ecuación 2.2 indica que la energía consumida en un periodo de tiempo es la suma de las demandas parciales que existan en este determinado tiempo.

Para el cálculo de la demanda base utilizada en la aplicación se procede a realizar un promedio global de todas las medidas de demanda de energía eléctrica con la que se cuente en la base de datos utilizando la siguiente ecuación:

$$\overline{D_{E(h)}} = \frac{\sum_{i=1}^N D_{E(i)}}{N} \quad (2.3)$$

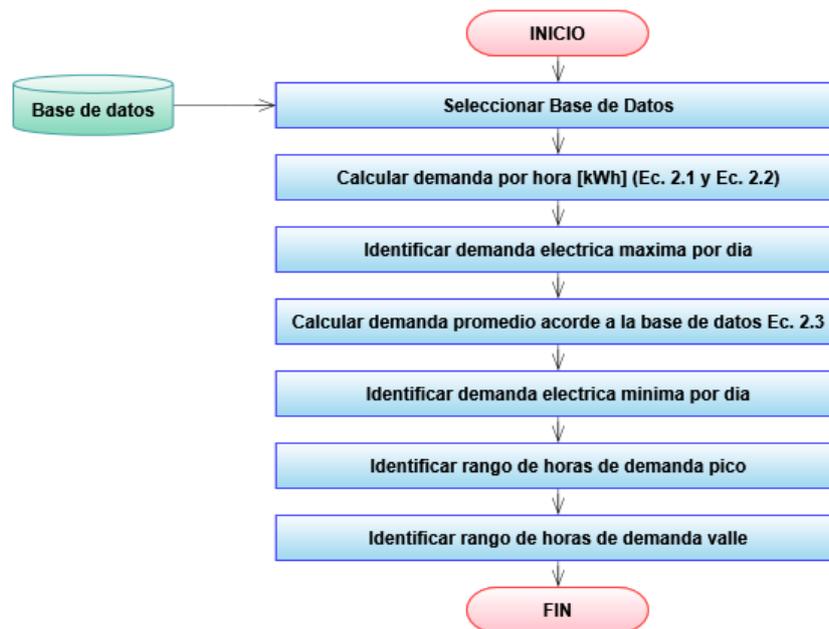
Donde  $\overline{D_{E(h)}}$  = Demanda de energía eléctrica promedio en la hora h [kWh]

$D_{E(i)}$  = Demanda de energía eléctrica en la hora h día i [kWh]

$N$  = Número total de mediciones de demanda de energía eléctrica

La identificación de las demandas máximas y mínimas, además de las horas pico y de valle de la curva de demanda es realizada mediante inspección visual en los datos de demanda de energía eléctrica utilizada.

El diagrama de flujo que resume los pasos a realizar se visualiza en la Figura 2.3.



**Figura 2.3.** Pasos para análisis de la curva de demanda.

### 2.1.3 ESQUEMA TARIFARIO PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Al no ser el principal motivo del presente proyecto de titulación el esquema tarifario para vehículos eléctricos es asumido como una variable de entrada para el estudio. Sin embargo, es necesario conocer el comportamiento que presentará el esquema tarifario en el proyecto. En el presente paso se analiza las hipótesis que maneja el esquema tarifario horario para la asignación de la tarifa eléctrica a los usuarios finales.

#### **2.1.4 CARACTERISTICAS DE LOS VEs DE LA FLOTA**

En primera instancia se describe las características de los vehículos eléctricos a considerar en el proyecto tanto técnicas como económicas, para lograr este propósito se investiga tres tipos de vehículos eléctricos existentes ya en el mercado y se compara entre ellos, para seleccionar el vehículo eléctrico más óptimo para la inserción en las redes de distribución de energía eléctrica en el Ecuador. A partir de esta información se propondrá las diferentes alternativas de conexión en el sistema de prueba y diferentes casos de niveles de penetración.

Las características fundamentales a analizar son:

- Precio en el mercado
- Autonomía
- Tipo de batería
- Características técnicas de carga y descarga que presentan.

### **2.2 SECCIÓN 2: SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBA INCORPORANDO VEs**

El objetivo principal de esta sección es modelar la curva de demanda por usuarios con la inserción de los vehículos eléctricos para finalmente incorporar las curvas de demanda modeladas al sistema de prueba y simular dicho sistema en el programa computacional CYMDIST.

#### **2.2.1 PERFIL DE MOVILIDAD DE LOS USUARIOS**

Un aspecto fundamental en la modelación de la curva de demanda por usuarios, es el comportamiento de los consumidores finales con sus vehículos eléctricos. El comportamiento de los usuarios está influenciado por el precio de las tarifas de compra y venta de energía eléctrica asumidas como variable de entrada.

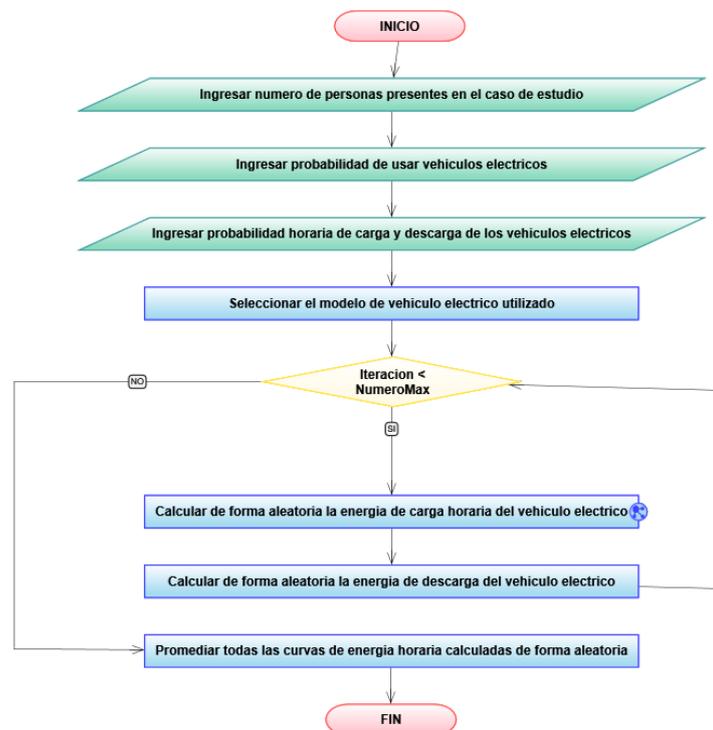
Mediante una encuesta se entrevista a ciudadanos respecto a sus hábitos de uso de vehículos a lo largo del día, además de consultar la probabilidad de cambiar sus hábitos de consumo acorde al esquema tarifario por bandas horarias. Con esta información se puede tener una idea clara de la disponibilidad de los vehículos eléctricos tanto para la carga como para la descarga desde la red de distribución eléctrica.

## 2.2.2 CURVA DE DEMANDA DE LOS USUARIOS INCORPORANDO VEs

Una vez se cuente con la información de disponibilidad de vehículos eléctricos de parte de los consumidores finales y características técnicas de los mismos, se realiza, tabula y grafica el comportamiento de la demanda de energía eléctrica requerida por los vehículos eléctricos por usuario final.

Es necesario recordar que este comportamiento está sujeto al esquema tarifario asumido y a la adaptabilidad de los usuarios finales a realizar cambios en sus hábitos de movilidad. Es por ello que para el presente proyecto de titulación se utiliza tres diferentes curvas de demanda de vehículos eléctricos, el primero que representa un usuario con una gran capacidad de adaptabilidad al cambio de hábitos, la segunda curva representa el usuario que no pretende cambiar sus hábitos de movilidad y la tercera curva de demanda eléctrica el usuario con un pequeño intento de adaptabilidad al cambio de hábitos. Todas las curvas de demanda eléctrica requerida por los vehículos eléctricos de consumidores finales son en base a los resultados de la encuesta elaborada en la sección 2.2.1.

Para conocer el comportamiento de la demanda únicamente de los vehículos eléctricos se sigue el diagrama de flujo mostrado a continuación:



**Figura 2.4.** Pasos para análisis de la curva de demanda.

El programa realizado en Matlab comienza con el ingreso del número de personas presentes en el caso de estudio, las probabilidades de que las personas utilicen los

vehículos en sus vidas cotidianas y las probabilidades de que el vehículo esté disponible en horas de carga o descarga durante las diferentes horas del día, estos dos últimos parámetros son calculados en base a la encuesta realizada a los ciudadanos del distrito metropolitano de Quito.

El programa calcula las probabilidades horarias referenciales de carga y descarga de vehículos en base a las ecuaciones 2.4 y 2.5.

$$\mathbf{ProRefRec} = \mathbf{Pro_{uve}} * \mathbf{Pro_{rec}} * \mathbf{Pro_{rech}} \quad (2.4)$$

Donde ProRefRec = Probabilidad referencial de carga [pu]

$Pro_{uve}$  = Probabilidad de uso de vehículo eléctrico en actividades cotidianas [pu]

$Pro_{rec}$  = Probabilidad de que el usuario final utilice al vehículo eléctrico en modo recarga [pu]

$Pro_{rech}$  = Probabilidad de que el usuario final compre energía eléctrica a la EEQ en base a la tarifa horaria [pu]

$$\mathbf{ProRefdes} = \mathbf{Pro_{uve}} * \mathbf{Pro_{des}} * \mathbf{Pro_{desh}} \quad (2.5)$$

Donde ProRefdes = Probabilidad referencial de descarga [pu]

$Pro_{uve}$  = Probabilidad de uso de vehículo eléctrico en actividades cotidianas [pu]

$Pro_{des}$  = Probabilidad de que el usuario final utilice al vehículo eléctrico en modo descarga [pu]

$Pro_{desh}$  = Probabilidad de que el usuario final venda energía eléctrica a la EEQ en base a la tarifa horaria [pu]

Después el programa selecciona el modelo del vehículo eléctrico utilizado por cada usuario, considerando que cada modelo tiene la misma probabilidad de ser escogido, esta selección permite conocer la potencia nominal de las baterías de los vehículos eléctricos a considerar en el modelamiento de la curva de demanda de los vehículos eléctricos.

Finalmente, el programa calcula la curva de demanda de energía eléctrica horaria, realiza 100 iteraciones aleatorias de comportamiento de carga y descarga de energía desde las baterías de los vehículos eléctricos, para al final calcular un promedio de las 100 curvas encontradas, obteniendo la curva de demanda utilizada en las simulaciones de flujo de potencia en el programa CYME.

La demanda de los vehículos eléctricos es calculada en base a la ecuación 2.6 y la demanda total del usuario con la incorporación de dicha demanda es calculada en base a la ecuación 2.5.

$$D_{EV(t)} = \begin{matrix} D_N * t1 & \text{si EVs esta cargando} \\ -D_N * t2 & \text{si EVs esta descargando} \end{matrix} \quad (2.6)$$

Donde  $D_{EV(t)}$  = Demanda del vehículo eléctrico del consumidor final [kWh]

$D_N$  = Potencia de la batería del vehículo eléctrico [kW]

$t1$  = Intervalo de tiempo de carga del vehículo eléctrico [horas]

$t2$  = Intervalo de tiempo de descarga del vehículo eléctrico [horas]

$$D_{EN(t)} = D_{E(t)} + D_{EV(t)} \quad (2.7)$$

Donde  $D_{EN(t)}$  = Demanda del consumidor final con la incorporación de la demanda de vehículo eléctrico [kWh]

$D_{EV(t)}$  = Demanda del vehículo eléctrico del consumidor final [kWh]

$D_{E(t)}$  = Demanda del consumidor final sin la incorporación de la demanda del vehículo eléctrico [kWh]

La demanda eléctrica del consumidor final es calculada para cada hora del día para posteriormente ingresar a las simulaciones de flujo de potencia del sistema.

### 2.2.3 SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBA

Finalmente, el último paso de la sección 2 es la simulación del sistema de prueba mediante flujos de potencia en el programa computacional CYMDIST incorporando al sistema la curva de demanda de energía eléctrica horaria de los vehículos eléctricos acorde a los casos de estudio propuestos.

Para la simulación del sistema de distribución de prueba se realiza el siguiente procedimiento.

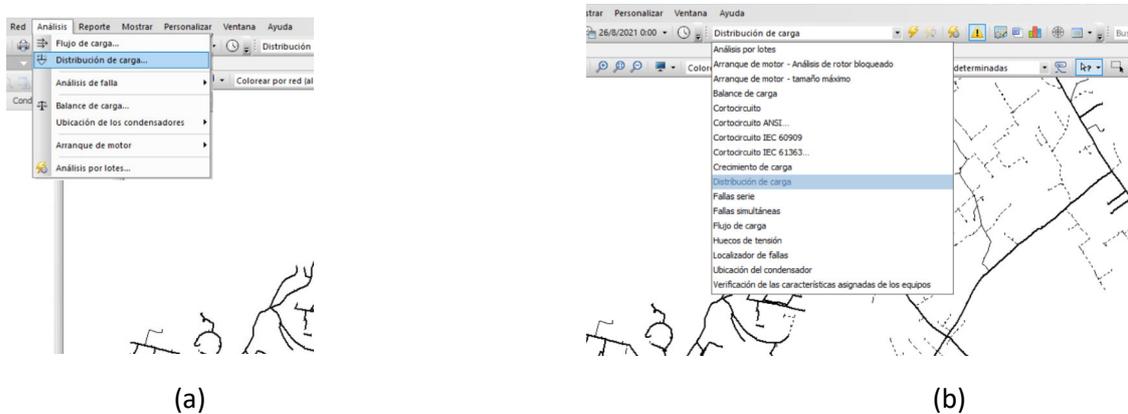
#### 2.2.3.1 DISTRIBUCIÓN DE CARGA

Este análisis ayuda a desarrollar un modelo de carga preciso al asignar las demandas del alimentador a través de la red en función de la capacidad conectada del transformador, los datos de consumo/facturación o los datos de demanda existentes o calculados [40].

Para ingresar al módulo de distribución de carga en CYMDIST existen dos métodos.

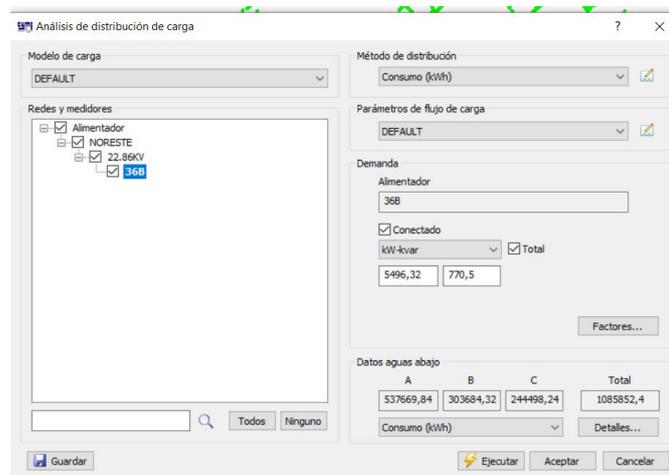
Método A.- Dirigirse a la pestaña análisis y seleccionar la opción distribución de carga.

Método B.- Dirigirse a la barra de herramientas, módulo de simulación, seleccionar la opción distribución de carga, y empezar simulación (clic en ).



**Figura 2.5.** Ingreso módulo distribución de carga.

Una vez seleccionado el módulo de distribución de carga se abrirá una ventana (Figura 2.6) para la configuración de los parámetros de simulación.



**Figura 2.6.** Módulo distribución de carga.

- Sección redes y mediciones. – Permite escoger las redes consideradas para el caso de estudio, la selección puede ser de una o más redes a la vez [41].
- Sección método de distribución. - Permite seleccionar el método a utilizar: a) kVA conectados divide la demanda asignada entre las cargas proporcionalmente a la capacidad de cada transformador, b) kWh conectados divide la demanda asignada entre las cargas proporcionalmente al consumo de energía de las mismas, c) REA divide la demanda asignada entre las cargas de acuerdo al número de consumidores que cada símbolo de carga representa y d) KVA real divide la

demanda asignada entre las cargas proporcionalmente a la carga kVA ya definida para cada carga. Esta es útil si mantiene la carga máxima en cada tramo en su base de datos de cargas. Con todos estos métodos, la carga kVA original será reemplazada por el nuevo valor asignado, pero sólo dentro del estudio [41].

- Sección Demanda. – Permite seleccionar el tipo de demanda entre kVA-PF, Amp-PF, kW-PF o kW-KVAR. Introduzca los datos requeridos por fase. Para el caso de kW-KVAR se puede ingresar el dato total requerido por el sistema [41].

Una vez se configuren todos los parámetros del módulo, se procede a dar clic en ejecutar para distribuir la carga en el sistema de distribución.

	A	B	C	Total		Formato:
Potencia real:	0,0	0,0	0,0	0,0	kW	kW & kvar
Potencia reactiva:	0,0	0,0	0,0	0,0	kvar	
Consumo:	1470,93	1470,93	1470,93	4412,8	kWh	
Capacidad conectada:	10,0	10,0	10,0	30,0	kVA	
Clientes:	0,99999	0,99999	0,99999	2,99997		

Figura 2.7. Ejemplo del valor de la carga antes de ejecutar distribución de carga.

	A	B	C	Total		Formato:
Potencia real:	5,27	5,27	5,27	15,8	kW	kW & kvar
Potencia reactiva:	0,79	0,79	0,79	2,37	kvar	
Consumo:	1470,93	1470,93	1470,93	4412,8	kWh	
Capacidad conectada:	10,0	10,0	10,0	30,0	kVA	
Clientes:	0,99999	0,99999	0,99999	2,99997		

**Figura 2.8.** Ejemplo del valor de la carga después de ejecutar distribución de carga.

### 2.2.3.2 FLUJOS DE POTENCIA

Una vez realizado la distribución de carga se procede a encontrar voltajes, corrientes y potencias del sistema mediante el módulo de flujos de potencia.

El desempeño de régimen permanente del sistema de energía bajo diversas condiciones de operación se simula utilizando el análisis de flujo de carga de CYMDIST. Es la herramienta básica de análisis para la planificación, el diseño y la operación de cualquier sistema de energía eléctrica [40].

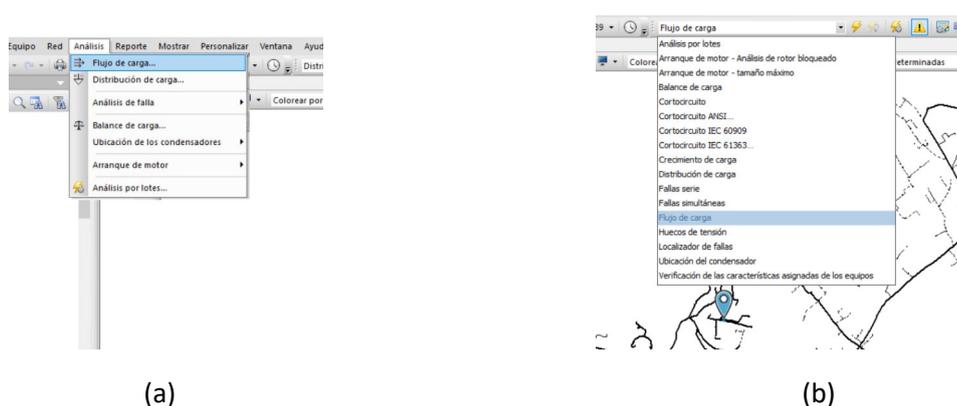
Caída de tensión balanceada y desbalanceada: presenta una técnica iterativa diseñada y optimizada específicamente para los sistemas radiales o ligeramente mallados; e incluye un algoritmo completo para redes trifásicas desbalanceadas que calcula las tensiones de fase [40].

Flujo de carga desbalanceada Newton-Raphson: Toma en cuenta las redes secundarias subterráneas (sistemas mallados en zonas urbanas), instalaciones de baja tensión y sistemas de subtransmisión conectados a los sistemas de distribución [40].

Para ingresar al módulo de flujos de carga en CYMDIST existen dos métodos.

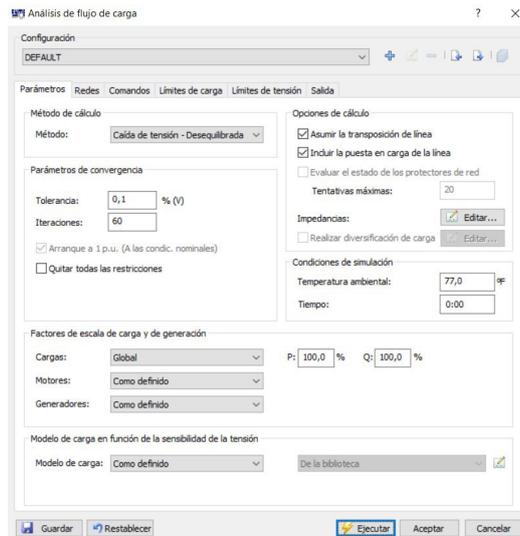
Método A.- Dirigirse a la pestaña análisis y seleccionar la opción flujo de carga.

Método B.- Dirigirse a la barra de herramientas, módulo de simulación, seleccionar la opción flujo de carga, y empezar simulación (clic en ).



**Figura 2.9.** Ingreso módulo flujo de carga.

Una vez seleccionado el módulo de flujo de carga se abrirá una ventana (Figura 2.10) para la configuración de los parámetros de simulación.



**Figura 2.10.** Módulo flujo de carga.

Las secciones necesarias de configurar en el módulo de flujo de carga son:

- Pestaña Parámetros – Método de cálculo. – Permite escoger el método de cálculo del flujo de carga. Los métodos disponibles son: a) Caída de tensión - Equilibrado / Desequilibrado, b) Fast Decoupled – Equilibrado, c) Gauss-Seidel – Equilibrado y d) Newton-Raphson – Equilibrado / Desequilibrado [42].
- Pestaña parámetros – Parámetros de convergencia. – a) Tolerancia, si el desajuste entre las iteraciones se sitúa dentro de la tolerancia especificada, el cálculo de flujo de carga declara que hay convergencia en la red, b) Iteraciones, limita el número total de iteraciones a un número predefinido. El número de iteraciones puede ser aumentado si el programa no converge, c) arranque a 1 p.u. (a las condiciones nominales), marque esta casilla de verificación para inicializar todas las tensiones a las tensiones nominales del sistema (generalmente 1.0 p.u.) antes de la primera iteración de flujo de carga y d) quitar todas las restricciones, cuando esta opción está activada, el flujo de carga al resolverse afloja todas las restricciones en los Generadores ( $Q_{max}$  y  $Q_{min}$ ) [42].
- Pestaña redes. - Permite seleccionar las redes que serán analizadas en el estudio [42].

### 2.2.3.3 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Como resultados de las simulaciones se obtendrán los siguientes resultados, mismos que permitirá en la sección 3 de la metodología evaluar y comparar los indicadores técnicos del sistema de prueba:

- Voltajes en barras
- Voltajes en cargas
- Pérdidas de potencia en el sistema

Para presentar los resultados en CYMDIST existen dos métodos.

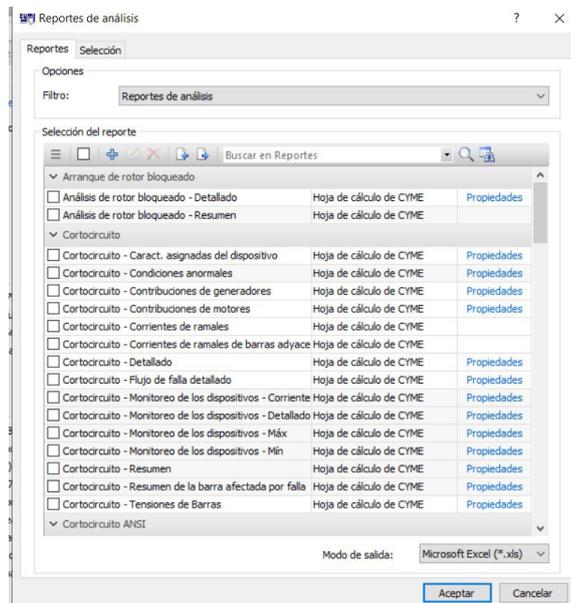
Método A.- Dirigirse a la pestaña reportes y seleccionar la opción reportes.

Método B.- Dirigirse a la barra de herramientas, módulo de simulación, seleccionar la opción reportes (clic en ).



**Figura 2.11.** Ingreso módulo reportes.

Una vez seleccionado el módulo de reportes se abrirá una ventana (Figura 2.10) para la selección de los reportes requeridos por el usuario.



**Figura 2.12.** Módulo reporte.

Existen una gran variedad de reportes entre los más usados se tiene:

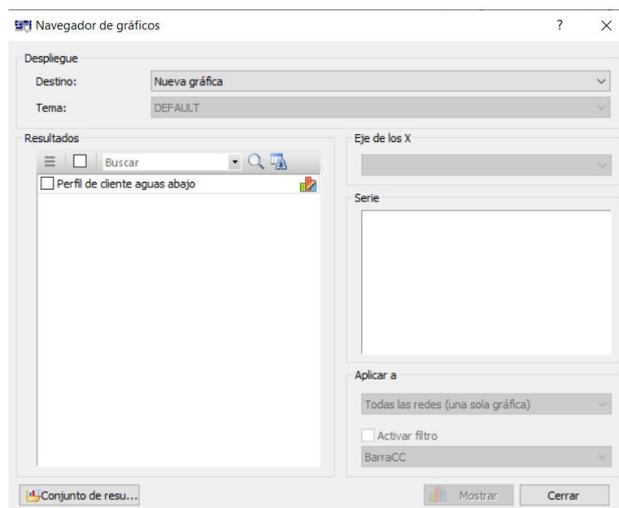
- Flujo de potencia de barras. - En este reporte se visualiza los valores de voltaje y potencia de cada barra del sistema simulado.
- Flujo de potencia de cargas. - En este reporte se visualiza los valores de voltaje y potencia de cada carga del sistema simulado.
- Reporte sumari de red. - En este reporte se visualiza los valores de voltaje y potencia de la red de forma resumida, así como las pérdidas del sistema simulado.

El módulo de reportes permite seleccionar la forma de observar los datos de los reportes, en la ventana administrador del propio programa o mediante la importación a una hoja Excel de todos los resultados obtenidos. En la Figura 2.13 se puede observar el formato de los reportes cuando se selecciona la opción de exportar los resultados a una hoja Excel.

Nombre red	Tramo	Id. equipo	Código	VA (V)	VB (V)	VC (V)	Conc ajust A (kVA)	Conc ajust B (kVA)	Conc ajust C (kVA)	Conc ajust D (kVA)	IP Conc ajust E (%)
36B	156495MS-0	95689	Carga concentrad	214,9			41,2			41,2	99,03
36B	87472MA-0	9936	Carga concentrad	214,9			30,9			30,9	99,03
36B	122744MA-0	9937	Carga concentrad	214,9			30,9			30,9	99,03
36B	543699MS-0	324801	Carga concentrad	214,9			20,6			20,6	99,03
36B	571219MS-0	356481	Carga concentrad	214,9			41,2			41,2	99,03
36B	285467MA-0	63051	Carga concentrad	215,0			20,6			20,6	99,03
36B	113506MA-0	77777	Carga concentrad	215,0			20,6			20,6	99,03

**Figura 2.13.** Reporte formato Excel.

Por otro lado, se tiene la opción de presentar gráficamente los resultados, esta opción se encuentra en la barra de herramientas, sección simulación, al dar clic en el icono se visualiza la ventana de selección de los resultados a graficar (Figura 2.14). En esta ventana se selecciona la variable a graficar y se presiona el botón aceptar.



**Figura 2.14.** Ventana Reporte forma gráfica.

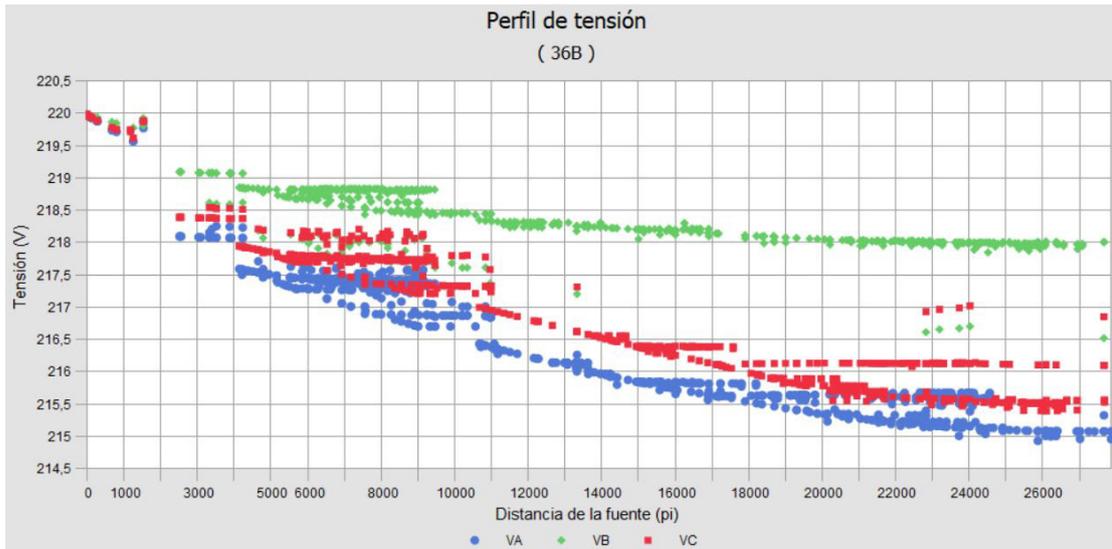


Figura 2.15. Reporte forma gráfica.

## 2.3 SECCIÓN 3: SELECCIÓN DE ALTERNATIVA MÁS ÓPTIMA

Finalmente, como última sección de la metodología se tiene la selección de la alternativa que mejores resultados proporcione mediante la evaluación técnica y económica de los casos de estudio desarrollados. La selección de la alternativa más óptima se realiza mediante una comparación numérica en los resultados de los indicadores técnicos y económicos encontrados en esta sección.

### 2.3.1 EVALUACIÓN TÉCNICA

Los indicadores técnicos para evaluar en la integración de vehículos eléctricos con tecnología V2G son los siguientes:

#### 2.3.1.1 FACTOR DE CARGA

El factor de carga se define como la razón entre la demanda promedio en un intervalo de tiempo dado y la demanda máxima observada en ese intervalo de tiempo [34].

$$F_c = \frac{D_p}{D_M} \quad 0 < F_c < 1 \quad (2.8)$$

Donde  $F_c$  = Factor de carga

$D_p$  = Demanda promedio [kW]

$D_M$  = Demanda Máxima [kW]

El factor de carga permite conocer el grado al cual el pico de la demanda es sostenido durante el periodo. Si el factor de carga es alto, la curva de demanda tiene muy pocas

variaciones y en cambio si el factor de carga es bajo, la curva de demanda sufre muchas variaciones con picos y valles pronunciados [34].

### 2.3.1.2 FACTOR DE UTILIZACIÓN

El factor de utilización se define como la razón entre la demanda máxima de un sistema o elemento y la capacidad nominal de dicho sistema o elemento [43].

$$F_u = \frac{D_M}{CI} \quad (2.9)$$

Donde  $F_u$  = Factor de utilización

$D_M$  = Demanda Máxima [kW]

$CI$  = Capacidad Instalada [kW]

El factor de utilización permite conocer la fracción de la capacidad del sistema que se está utilizando, es decir, indica la utilización máxima del equipo o instalación [34]. Si el factor de utilización es mayor a 1, el sistema o elemento está sobrecargado, reduciendo el tiempo de vida de estos, y siendo necesario realizar inversiones para mejorar su operación.

### 2.3.1.3 NIVELES DE VOLTAJE

La calidad del nivel de voltaje en un punto del sistema de distribución es determinada mediante el siguiente índice [44]:

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} \times 100 \text{ [%]} \quad (2.10)$$

Donde  $\Delta V_k$  = Variación del voltaje de suministro respecto al voltaje nominal en el punto k.

$V_k$  = Voltaje de suministro en el punto k [kV].

$V_N$  = Voltaje nominal en el punto k [kV].

Las variaciones de voltaje admitidas son las siguientes:

**Tabla 2.1** Límites para el índice de nivel de voltaje [44].

Nivel de voltaje	Rango admisible
Alto Voltaje	±5%
Medio Voltaje	±6%
Bajo Voltaje	±8%

### 2.3.1.4 PÉRDIDAS DE ENERGÍA

El suministro de energía eléctrica a los usuarios finales (residencial, comercial e industrial) es el resultado de un proceso de producción, transporte y venta del que hacen parte diferentes actores (generación, transmisión, distribución y comercialización) [45].

En estos procesos al no ser ideales se producen las denominadas pérdidas de energía. Las pérdidas de energía eléctrica se dividen en dos categorías en función a su naturaleza: 1) las pérdidas técnicas, asociadas a características propias de las redes eléctricas, que corresponden a la diferencia entre la energía suministrada a un sistema y la energía utilizada por el usuario final, y 2) las pérdidas no técnicas asociadas con la mala facturación, o por fraude o conexiones ilegales de parte de los usuarios [46].

Las pérdidas técnicas constituyen la energía eléctrica que se pierde en los diferentes equipos y elementos que forman la red de distribución, estos pueden ser determinados por métodos mesurables (instrumentos de medición) y analíticos (softwares especializados). Representan la energía eléctrica que se pierde durante la transmisión dentro de la red como consecuencia de un calentamiento natural de los conductores que transportan la electricidad [47]. Las pérdidas técnicas en un sistema de distribución presentan la siguiente clasificación.

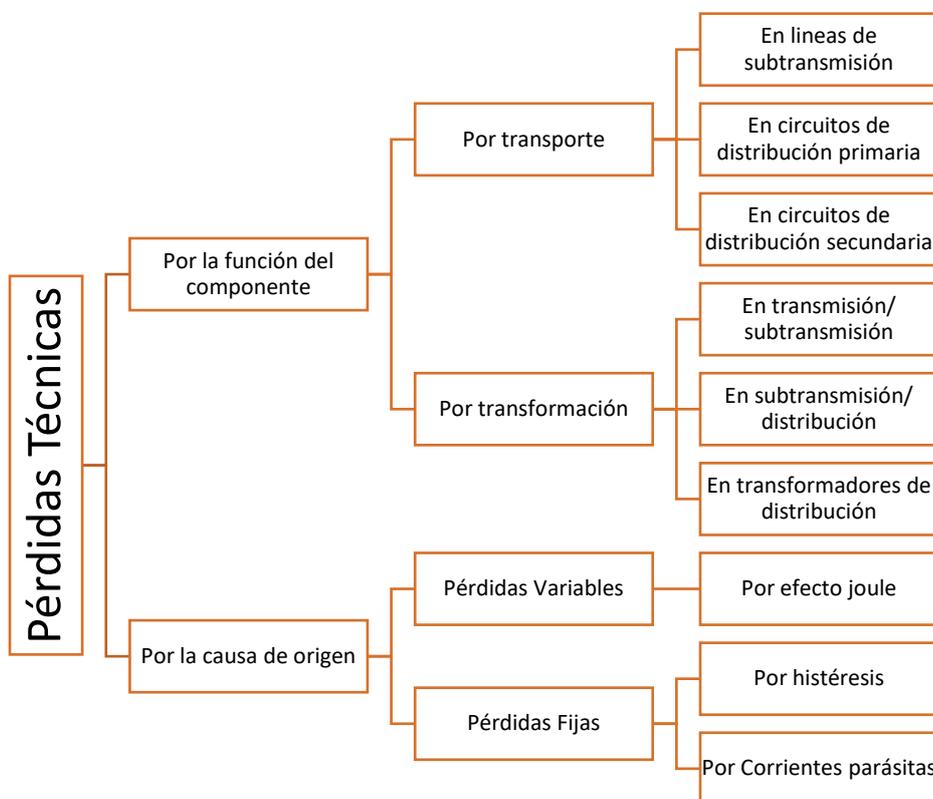


Figura 2.16. Clasificación Pérdidas Técnicas en Sistemas de Distribución [47].

## 2.3.2 EVALUACIÓN FINANCIERA

Los indicadores económicos a evaluar en la integración de vehículos eléctricos con tecnología V2G son los siguientes

### 2.3.2.1 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El VAN es un indicador, que refleja la diferencia entre el flujo de los ingresos y egresos futuros de un proyecto; es decir, es el valor de todos los flujos de caja esperados referido a un mismo momento del tiempo. La obtención del VAN constituye una herramienta fundamental para la evaluación de proyectos [48], [49].

La fórmula para calcular el VAN es [48], [49]:

$$VAN = \sum_{n=0}^N \frac{I_n - E_n}{(1+i)^n} \quad (2.11)$$

Donde  $I_n$  = Flujo de Ingresos [USD]

$E_n$  = Flujo de Egresos [USD]

$i$  = Interés

$N$  = Número de Periodos

El VAN debe ser interpretado de la siguiente manera [48], [49]:

- Si VAN es mayor a cero, entonces el proyecto genera beneficio.
- Si VAN es igual a cero, entonces en el proyecto no existe beneficio ni pérdidas.
- Si VAN es menor a cero, entonces en el proyecto existen pérdidas.

Se deberá rechazar cualquier inversión cuyo VAN sea negativo. Entre varios proyectos se elegirá aquel cuyo VAN positivo sea superior.

### 2.3.2.2 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La TIR es un indicador de rentabilidad relativa, es el tipo de interés que hace igual a cero el VAN [48], [49].

La fórmula para calcular el TIR es [48], [49]:

$$VAN = \sum_{n=0}^N \frac{I_n - E_n}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (2.12)$$

Donde  $I_n$  = Flujo de Ingresos [USD]

$E_n$  = Flujo de Egresos [USD]

$N$  = Número de Periodos

Este método considera que un proyecto de inversión es conveniente, si la TIR es igual o superior a la tasa de interés vigente en el mercado, y entre varias alternativas, la más conveniente será aquella que ofrezca una TIR mayor. Si la TIR es igual a la tasa de interés, el proyecto es indiferente entre realizar la inversión o no. Si la TIR es menor a la tasa de interés, el proyecto debe rechazarse [48], [49].

### **2.3.2.3 RELACIÓN BENEFICIO/COSTO**

La relación beneficio/costo es un índice que se define como la relación entre los beneficios y los egresos (costos) de un proyecto.

Utilizado para evaluar inversiones del gobierno central, gobiernos locales y regionales en base a la razón de los beneficios a los costos asociados al proyecto [50], [51].

La fórmula para calcular el B/C es [50], [51]:

$$B/C = \frac{INGRESOS [USD]}{EGRESOS [USD]} \quad (2.13)$$

La relación B/C debe ser interpretado de la siguiente manera [50], [51]:

- Si B/C es mayor a uno, entonces el proyecto se acepta.
- Si B/C es igual a uno, entonces el proyecto es indiferente.
- Si B/C es menor a uno, entonces el proyecto se rechaza.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presenta la descripción del sistema de prueba, análisis de sus curvas de demanda de energía eléctrica y los resultados de las evaluaciones técnicas y económicas del sistema de prueba incorporando EVs a su curva de demanda de energía eléctrica, los cuales son comparados con un caso base que no presenta ningún vehículo eléctrico conectado a la red.

#### 3.1 SECCIÓN 1: ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA

##### 3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBA

En esta sección, se describen las principales características geográficas y técnicas del sistema de distribución seleccionada para el presente estudio.

El sistema de distribución de prueba seleccionada para el presente proyecto de titulación es el alimentador 36B proporcionada por la Empresa Eléctrica de Quito. El área de concesión del alimentador 36B es Tumbaco, como se puede evidenciar en la Figura 3.1.

La selección del alimentador 36B se debe a que se encuentra en una zona con alto consumo residencial, además de presentar un alto índice de uso de vehículos y los consumidores finales presentan la capacidad monetaria para adquirir vehículos eléctricos.



**Figura 3.1.** Área de concesión alimentador 36B.

El sistema de distribución presenta los siguientes aspectos técnicos:

- Nivel de voltaje del primario: 22,8 kV.
- Presenta 284 clientes.
- La potencia promedio del alimentador primario es: 6051 kW.

- La potencia máxima del alimentador primario es: 9098 kW en primario 36B.



**Figura 3.2.** Sistema de distribución de prueba.

### 3.1.2 CURVA DE DEMANDA BASE DE USUARIOS

En esta sección, se detalla y estudia la curva de demanda de energía eléctrica del alimentador 36B, se compara las diferentes curvas horarias de demanda de cada día y se promedia dichas curvas de demanda para obtener una sola curva de demanda adecuada para el análisis de la inclusión de la demanda de vehículos eléctricos en el alimentador.

El análisis de las curvas de demanda de energía eléctrica empieza con la tabulación y transformación de los datos de la base proporcionada por la Empresa Eléctrica Quito. La base de datos original contiene información de todas las variables eléctricas: voltaje (V), corriente (A), potencia activa (kW), potencia reactiva (kVAR) y factor de potencia, la información es entregada en intervalos de 15 minutos.

HORA	Vln a	Vln b	Vln c	I a	I b	I c	kW sd del	kVAR tot	PF sign tot	S	P	Q
1/7/2020 0:15:00	13175,812	13360,957	13316,235	152,653748	109,801857	126,395142	5018,75977	1014,36639	98,037628	5165,62346	5064,25471	1018,32703
1/7/2020 0:30:00	13163,032	13355,168	13300,391	157,203354	113,368492	130,838669	5032,33887	1040,39795	98,060829	5327,86704	5224,55059	1044,1448
1/7/2020 0:45:00	13143,807	13338,768	13289,5596	156,900101	109,577141	127,602165	5167,03711	873,502808	98,581329	5224,45974	5150,34184	876,902763
1/7/2020 1:00:00	13169,721	13364,58	13313,0596	156,39592	111,96151	130,13974	5225,08447	753,662659	98,97319	5293,02014	5238,67088	756,564349

**Figura 3.3.** Base de datos proporcionada por la EEQ.

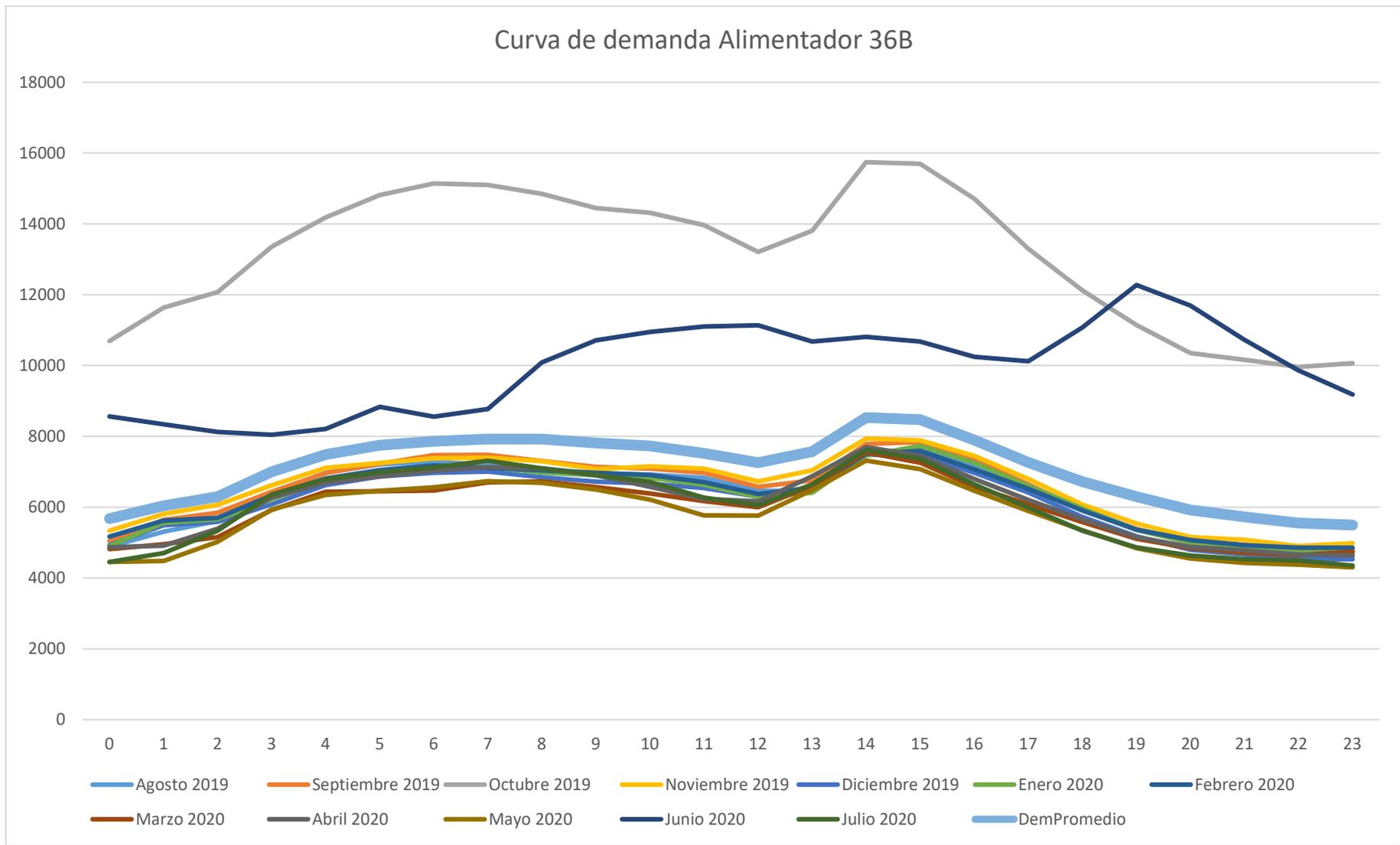
La información de la demanda de energía eléctrica proporcionada por la EEQ contiene un archivo Excel por cada mes de análisis (12 archivos Excel). Se procedió a unificar todos los archivos Excel en uno solo que contenga toda la información de la demanda del alimentador 36B, este objetivo se logró mediante la utilización de la librería power query del programa computacional Excel.

Para el presente trabajo de titulación la única información requerida es la demanda de energía eléctrica en kWh, mediante el programa computacional Excel se procede a eliminar la información innecesaria y transformar el formato de visualización de los datos (demanda de energía eléctrica por hora).

Suma de kWh		Hora											
Año	Mes	Día	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	8	1	3862,20605	5642,82654	6089,13733	6944,76685	7455,88709	7989,95801	7812,39832	7694,20032	7473,26575	7436,25269	7543,51013
2019	8	2	4948,0531	5252,76221	5772,10327	6678,8916	7346,61743	8001,7489	8025,10266	7777,54187	7747,19495	7249,27759	7192,02942
2019	8	3	4715,63257	5040,8457	5043,57617	5466,45605	5977,42151	6038,46851	6052,13831	5805,82019	5675,8219	5666,30457	5416,19495
2019	8	4	3756,79517	3813,63007	3497,05469	4176,63538	4613,22095	4810,10388	5075,93677	5249,12878	5248,20752	5095,37573	4994,98767
2019	8	5	3875,04663	4414,02258	5230,67896	6085,50147	7374,85803	8046,07568	8241,71399	7956,0686	8343,94946	8035,99707	8090,16248
2019	8	6	5511,26807	6150,22534	6689,51135	7422,61902	8138,0354	8382,62109	8531,2898	6796,40454	6717,58423	6930,18701	6897,16565
2019	8	7	5494,42432	5800,70007	6455,65503	7358,50256	7898,07166	7066,27222	7002,46313	4217,37836	7098,41992	7109,20203	7149,90405
2019	8	8	5481,23511	5732,23303	6413,60754	7435,24768	7720,76172	8080,44104	8276,95789	8364,94287	7994,81848	7875,95313	7771,57385
2019	8	9	5126,70898	5093,87524	5046,80066	5391,31104	6133,95886	6383,32361	6449,52283	6463,25439	6185,25855	5815,10815	5543,39172
2019	8	10	3827,75189	3783,34558	3646,92004	4301,83887	5081,00305	5178,85864	5212,64392	5329,60669	5196,83154	5140,73816	4834,51294

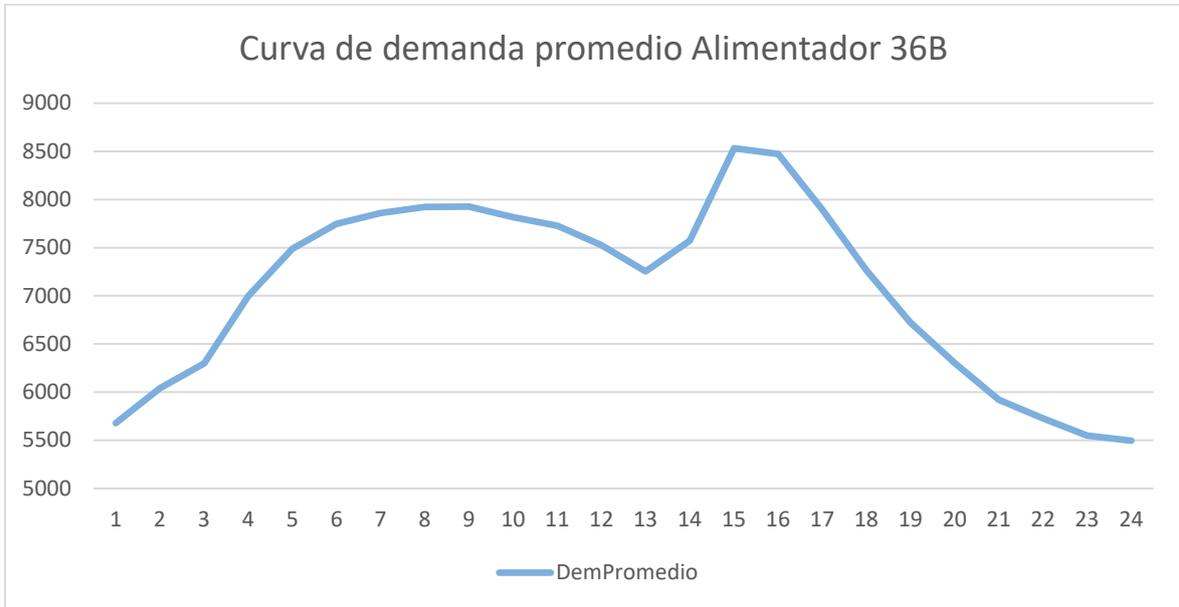
**Figura 3.4.** Base de datos tabulados.

Una vez tabulada la base de datos proporcionada por la Empresa Eléctrica Quito por mes (ver anexo A), en la Figura 3.5 se visualiza los resultados de las curvas horarias de demanda promedio encontradas para el periodo de un año (agosto 2019 a Julio 2020). Se observa que las curvas de demanda siguen un similar comportamiento en todos los meses analizados. Las horas pico se encuentran en el rango de 15 a 18 horas y las horas valle se encuentran en el rango de 0 a 4 horas y 21 a 23 horas. Se puede apreciar que las curvas de demandas horarias de los meses octubre 2019 y junio 2020 presentan valores mucho mayores a los otros meses, al ser curvas atípicas con respecto a los otros meses, estas curvas de demanda horarias no serán consideradas para la aplicación.



**Figura 3.5.** Curvas horarias de demanda alimentador 36B.

Para obtener una sola curva de demanda horaria se procede a promediar las curvas de demanda que se tiene por mes, esta curva se visualiza en la Figura 3.6 y será utilizada como curva base de demanda de energía eléctrica para ser comparada con los diferentes escenarios de inserción de vehículos eléctricos propuestos y analizados más adelante.



**Figura 3.6.** Demanda horaria de energía eléctrica alimentador 36B sin inserción de vehículos eléctricos.

En la Tabla 3.1 se observa numéricamente los valores de la curva de demanda base calculada, se aprecia que el valor pico de la demanda se encuentra en la hora 14 y su valor es de 8531,88309 kWh, el valor mínimo de la demanda se encuentra en la hora 23 y su valor es de 5496,315274 y el valor promedio de la demanda base es de 7072,317895

**Tabla 3.1** Demanda horaria de energía eléctrica alimentador 36B sin inserción de vehículos eléctricos.

Hora	Demanda (kWh)
0	5678,35895
1	6039,83527
2	6297,81339
3	6998,20857
4	7489,17385
5	7748,50278
6	7859,0246
7	7922,18755
8	7925,23121
9	7816,22763
10	7726,6407
11	7523,56644

Hora	Demanda (kWh)
12	7253,21183
13	7572,61096
14	8531,88309
15	8474,21097
16	7895,08807
17	7266,69425
18	6722,1103
19	6300,52764
20	5919,56851
21	5728,37897
22	5550,25868
23	5496,31527

### 3.1.3 ESQUEMA TARIFARIO PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Como se detalló en la sección 2.1.3, el estudio a profundidad del esquema tarifario no es un objetivo del presente trabajo de titulación únicamente será utilizado como dato de entrada para conocer la disponibilidad de los ciudadanos a comprar y los hábitos en la utilización de vehículos eléctricos para el sector de Tumbaco.

Para el presente trabajo de titulación el esquema tarifario utilizado es el de bandas horarias especificada en la sección 1.3.3.2, a continuación, se detallan las hipótesis que están presentes en el esquema tarifario.

Por un lado, se tiene la tarifa de compra de energía eléctrica de los usuarios finales, desde la red de distribución de energía eléctrica hacia los vehículos eléctricos y presentan las siguientes hipótesis:

- La tarifa designada para la compra de energía en horas pico es superior (existen recargos) respecto a la tarifa designada para la compra de energía en horas normales.
- La tarifa designada para la compra de energía en horas normales es superior respecto a la tarifa designada para la compra de energía en horas valle.

Para la asignación de la tarifa de la compra de energía eléctrica las empresas distribuidoras realizan un análisis técnico-económico acorde a la ecuación 3.1

$$CEE_{EV} = A_{inf} - B_{EV} + C_{EV} \quad (3.1)$$

Donde  $CEE_{EV}$  = Costo energía eléctrica [USD]

$A_{inf}$  = Inversión requerida en infraestructura [USD]

$B_{EV}$  = Compra de energía eléctrica hacia vehículos eléctricos [USD]

$C_{EV}$  = Venta de energía eléctrica hacia vehículos eléctricos [USD]

La hipótesis que rige al momento de poner la tarifa horaria es que el dinero recaudado por la compra de energía eléctrica sea superior a los costos de inversión en la infraestructura requerida y los costos de venta de energía eléctrica.

Para realizar el análisis de los precios de compra y venta de energía eléctrica del presente proyecto de titulación se utiliza los siguientes valores de entrada:

- Costo del vehículo a combustible: 35000 \$.
- Costo del vehículo eléctrico: 39900 \$.
- Costo del combustible promedio: 3,68 \$/litro.
- Costo de mantenimiento de vehículos a combustión: 4000 \$ por año.
- Costo de mantenimiento de vehículos eléctricos: 1500 \$ por año.

Estas hipótesis influyen en el comportamiento de carga de los vehículos eléctricos en los usuarios finales, debido a que el aspecto económico es un factor importante, las preferencias de los consumidores serán evitar las horas en las cuales la tarifa de la energía tenga un valor más alto, es decir en horas pico.

En la Tabla 3.2, se visualizan los valores en centavos de dólares americanos de la compra de energía eléctrica, en base a las hipótesis descritas anteriormente, el estado de arte realizado en la sección 1.3.3 y el análisis de la curva de demanda base realizada en la sección anterior.

**Tabla 3.2** Tarifas eléctricas para la compra de energía eléctrica de los usuarios finales desde la red de distribución.

Hora	Generación (USD¢/kWh)	Transmisión (USD¢/kWh)	Distribución (USD¢/kWh)	Total (USD¢/kWh)
0 a 4	3,43	0,51	5,13	9,07
4 a 15	3,43	0,51	6,13	10,07
15 a 18	3,43	0,51	8,13	12,07
18 a 21	3,43	0,51	6,13	10,07
21 a 23	3,43	0,51	5,13	9,07

Por otro lado, se tiene la tarifa de venta de energía eléctrica de los usuarios finales, desde sus domicilios hasta la red de distribución de energía eléctrica y presentan las siguientes hipótesis:

- La tarifa designada para la venta de energía en horas pico es superior respecto a la tarifa designada para la compra de energía en horas normales.
- La tarifa designada para la venta de energía en horas normales es superior respecto a la tarifa designada para la compra de energía en horas valle.

Estas hipótesis influyen en el comportamiento de la descarga de los vehículos eléctricos en los usuarios finales, debido a que el aspecto económico es un factor importante, las preferencias de los consumidores serán vender la energía eléctrica cuando su precio es alto, es decir en horas pico. En la Tabla 3.3, se visualizan los valores en centavos de dólares americanos de la compra de energía eléctrica, en base a las hipótesis descritas anteriormente, el estado de arte realizado en la sección 1.3.3 y el análisis de la curva de demanda base realizada en la sección anterior.

**Tabla 3.3** Tarifas eléctricas para la venta de energía eléctrica de los usuarios finales hacia la red de distribución.

Hora	Valor (USD¢/kWh)
0 a 4	1
4 a 15	3
15 a 18	6,13
18 a 21	3
21 a 23	1

Como análisis global se tiene que el costo total para la compra y utilización de un vehículo a combustión por un año es de 41208 \$ por año, en cambio el costo total para la compra y utilización de un vehículo eléctrico por un año es de 38334 \$ por año, estos valores son calculados considerando como valores de entrada el precio de la energía indicadas en la Tabla 3.2 y Tabla 3.3.

### 3.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS VEs DE LA FLOTA ELÉCTRICOS

La tecnología vehicle-to-grid ha ido evolucionando a través de los años y hoy por hoy se puede encontrar en más de un modelo de vehículo eléctrico. El sistema vehicle-to-grid ha sido investigado por fabricantes como Honda, Nissan, Volkswagen o Sono Sion.

En esta sección se detalla y describe las características técnicas y constructivas de los vehículos eléctricos más conocidas con tecnología V2G.

### 3.1.4.1 NISSAN

Nissan es uno de los fabricantes que más fuertemente están apostando por la llamada tecnología V2G (Vehicle-to-Grid), permitiendo que el vehículo eléctrico sea utilizado como fuente de energía para sistemas de distribución.

El Nissan LEAF es un vehículo compacto de 5 plazas totalmente eléctrico. Nissan presentó inicialmente este vehículo en el año 2009 como una manera de popularizar el vehículo eléctrico. Para el año 2017 fue renovado por completo con un nuevo modelo Nissan LEAF 2018 con un diseño mucho más atractivo y agresivo [52].



**Figura 3.7.** Nissan LEAF [53].

En la Tabla 3.4 se visualiza las características técnicas y constructivas del Nissan LEAF y en la Tabla 3.5 se visualizó los tipos de carga y descarga que presenta el vehículo, además, como los tiempos que toma.

**Tabla 3.4** Características Nissan LEAF [53].

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Tipo vehículo	Eléctrico (110 kW)
Potencia	147 hp @ 9,795 rpm
Tipo de batería	40 kWh Batería ion-litio laminada
Autonomía	280 kms
Precio	39990 \$

**Tabla 3.5** Tipo de recargas Nissan LEAF [53].

<b>Cable de viaje</b>	<b>Wall box</b>	<b>Recarga rápida</b>
1,3 kW	6,6 kW	50 kW

Cable de viaje	Wall box	Recarga rápida
40 kW 100%	40 kW 100%	Hasta 80%
Hasta 27h	Hasta 12h	40 min
Conexión estándar 110 V	Conexión estándar 220 V	Conexión de recarga rápida

### 3.1.4.2 TESLA

Tesla ha venido trabajando anteriormente en la tecnología vehículo-a-red (V2G), inclusive el modelo Roadster de primera generación ya contó con dicha tecnología, sin embargo, dichos planes fueron olvidados a raíz de una reunión mantenida por los accionistas de Tesla en el año 2016, donde le quitaron importancia a esta tecnología alegando que no era una prioridad. En estos últimos años han empezado a darle la importancia que conlleva instalar en los vehículos eléctricos la tecnología V2G, empezando la construcción masiva de vehículos eléctricos con tecnología V2G [54].

El Tesla Model 3 es un vehículo eléctrico de dimensiones compactas y es cien por ciento eléctrico, fabricado por Tesla desde el año 2016. El Tesla Model 3 cuenta con una alternativa que presenta características y precios similares, que es el Tesla Model Y, fabricado desde el año 2019 [55].



**Figura 3.8.** Tesla Model 3 [56].

En la Tabla 3.6 se visualiza las características técnicas y constructivas del Tesla Model 3.

**Tabla 3.6** Características Tesla Model 3 [56].

Característica	Valor
Tipo vehículo	Eléctrico
Potencia	154kW
Tipo de batería	Batería litio ferrofosfato

Característica	Valor
Autonomía	614 kms
Precio	60000 \$
Tipo de carga	Rápida (15min recargue 299km)

### 3.1.4.3 HONDA

El desarrollo de la tecnología V2G (Vehicle-to-Grid) es parte de un megaproyecto de Honda denominado Smart Company, el cual tiene como objetivo, según el vicepresidente de Honda R&D Europa Jörg Böttcher de impulsar la investigación en el ámbito de la movilidad del futuro enfocada principalmente hacia una sociedad sostenible [57].

El Honda e es un utilitario eléctrico, del segmento B, que cuenta con un diseño moderno, con toques retro, cinco puertas y dimensiones contenidas, de menos de cuatro metros de longitud, con una estética simpática y retro futurista, producido por el fabricante japonés Honda desde 2019. El Honda e se caracteriza por contar con 150 CV de potencia [58].



**Figura 3.9.** Honda e [59].

En la Tabla 3.7 se visualiza las características técnicas y constructivas del Honda e y en la Tabla 3.8 se visualizó los tipos de carga y descarga que presenta el vehículo, además, como los tiempos que toma.

**Tabla 3.7** Características Honda e [59].

Característica	Valor
Tipo vehículo	Eléctrico
Potencia	113 kW
Tipo de batería	35,5 kWh Batería de iones de litio

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Autonomía	220 kms
Precio	40000 \$

**Tabla 3.8** Tipo de recargas Honda e [59].

<b>Carga rápida</b>	<b>Carga pública</b>	<b>En casa</b>
50 kW	6,6 kW	6,6 kW
80%	100%	100%
31 min	246 min	246 min

#### **3.1.4.4 BMW**

BMW desde hace casi cinco décadas ha venido investigando, desarrollando y llevando a la sociedad entera el tema de la movilidad sostenible y respetuosa con el medio ambiente mediante la introducción y construcción de una gran variedad de modelos de vehículos eléctricos. La autonomía de los vehículos eléctricos hace que la conducción eléctrica sea flexible, sencilla, atractiva y respetuosa con el medio ambiente. Como fabricante de automóviles, BMW aspira a ser el proveedor más exitoso y sostenible en movilidad. La sostenibilidad no es una moda, sino un compromiso [60].

El BMW i3 es un utilitario eléctrico urbano, fabricado desde 2013 por BMW. Actualmente BMW comercializa la primera generación, aunque dichos vehículos han recibido diversas actualizaciones. Se caracteriza por un diseño compacto, ofreciendo una buena habitabilidad interior; del mismo modo presenta un diseño moderno y rompedor con buenos acabados en materiales de última tecnología y unas prestaciones sorprendentes para un vehículo de estas características. El BMW i3 es fabricado en la planta de BMW de Leipzig [61].



**Figura 3.10.** BMW i3 [62].

En la Tabla 3.9 se visualiza las características técnicas y constructivas del BMW i3 y en la Tabla 3.10 se visualizó los tipos de carga y descarga que presenta el vehículo, además, como los tiempos que toma.

**Tabla 3.9** Características BMW i3 [62].

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Tipo vehículo	Eléctrico
Potencia	170 Hp
Tipo de batería	42,2 kWh Batería de iones de litio
Autonomía	260 kms
Precio	48000 \$

**Tabla 3.10** Tipo de recargas BMW i3 [62].

<b>Carga rápida</b>	<b>En casa</b>
50 kW	3,7 kW
80%	80%
42 min	9,7 horas

### 3.1.4.5 RENAULT

Renault ha venido explorando las posibilidades de los sistemas V2G (Vehicle-to-Grid) en servicios de movilidad y otras iniciativas con diferentes socios. La principal marca aliada de Renault es Nissan (lleva ya bastante tiempo trabajando con esta tecnología). Sin embargo,

todavía no se sabe si Renault va a implementar las mismas soluciones tecnológicas que la marca japonesa utiliza en su programa V2G. Teniendo en cuenta que los futuros vehículos eléctricos de esta alianza compartirán todo el apartado técnico, lo más probable es que el desarrollo de esta tecnología V2G también sea compartido por las dos marcas. Con esta iniciativa según Gilles Normand director de vehículos eléctricos, Renault está cumpliendo en su totalidad el papel de líder en movilidad eléctrica para todos, teniendo como actor principal la transición energética [63].

El Renault ZOE es un utilitario 100% eléctrico que no tiene variantes de combustión. La primera versión del Renault ZOE fue lanzado al mercado en el año 2013, el modelo actual es de tercera generación presentada en el año 2019 misma que ha sido actualizada para introducir la tecnología V2G. Se fabrica en la ciudad de Flins (Francia). El Renault ZOE está construido sobre la plataforma CMF-EV [64].



**Figura 3.11.** Renault ZOE [65].

En la Tabla 3.11 se visualiza las características técnicas y constructivas del Renault ZOE y en la Tabla 3.12 se visualizó los tipos de carga y descarga que presenta el vehículo, además, como los tiempos que toma.

**Tabla 3.11** Características Renault ZOE [65].

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Tipo vehículo	Eléctrico
Potencia	100 kW
Tipo de batería	52 kWh Batería de iones de litio
Autonomía	390 kms
Precio	44200 \$

**Tabla 3.12** Tipo de recargas Renault ZOE [65].

<b>Carga rápida</b>	<b>Carga pública</b>	<b>En casa</b>
50 kW	22 kW	7,4 kW
80%	100%	100%
45 min	3,25 horas	8 horas

#### **3.1.4.6 DAIMLER (MERCEDES-BENZ)**

Después de las investigaciones realizadas por Mercedes-Benz Energy y el operador de sistemas de transmisión TenneT, se llegó a la conclusión de que los sistemas de almacenamiento de las baterías encontradas en los vehículos eléctricos pueden llegar a asumir las tareas de una central eléctrica y hacer una contribución significativa en la estabilidad de la red de distribución eléctrica. Mediante la filial Mercedes-Benz Energy, Mercedes-Benz ha empezado a apostar fuertemente en el negocio del desarrollo de convertidores V2G en el mercado estadounidense y con esto el desarrollo de vehículos eléctricos con tecnología Vehicle-to-Grid. Recordando que Mercedes-Benz ya ha estado en el negocio de los convertidores desde 2015 [66].

El Mercedes EQC es un vehículo completamente eléctrico, fabricado por Mercedes-Benz desde 2019. Fue el primer vehículo de la gama de productos eléctricos. Presenta dos motores eléctricos de 408 CV. Mercedes-Benz lo produce en su fábrica en la ciudad de Bremen (Alemania) [67].



**Figura 3.12.** Mercedes EQC [68].

En la Tabla 3.13 se visualiza las características técnicas y constructivas del Mercedes EQC y en la Tabla 3.14 se visualizó los tipos de carga y descarga que presenta el vehículo, además, como los tiempos que toma.

**Tabla 3.13** Características Mercedes EQC [68].

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Tipo vehículo	Eléctrico
Potencia	408 CV
Tipo de batería	80 kWh Batería de iones de litio
Autonomía	462 kms
Precio	73800 \$

**Tabla 3.14** Tipo de recargas Mercedes EQC [68].

<b>Carga rápida</b>	<b>Carga pública</b>	<b>En casa</b>
50 kW	22 kW	7,4 kW
80%	100%	100%
41 min	9,35 horas	11,47 horas

## **3.2 SECCIÓN 2: SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBA INCORPORANDO VEs**

### **3.2.1 PERFIL DE MOVILIDAD DE LOS USUARIOS**

En esta sección se analiza y tabula los resultados obtenidos en la encuesta (anexo C) acerca de la disponibilidad de los usuarios finales del alimentador 36B para adquirir y usar vehículos eléctricos con tecnología V2G.

#### **3.2.1.1 PREGUNTA 1**

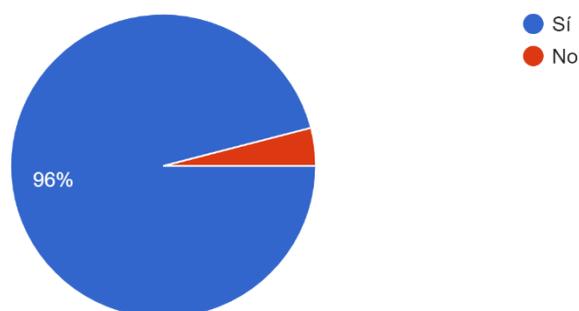
La primera pregunta está enfocada en conocer la cantidad de los encuestados que cuentan con vehículo propio en sus respectivos hogares. La mayoría de las personas encuestadas cuenta con uno o más vehículos actualmente en sus hogares, en la Tabla 3.15 y Figura 3.13 se pueden apreciar los resultados de la pregunta 1.

**Tabla 3.15** Resultados numéricos pregunta 1.

<b>Alternativa</b>	<b>Respuesta</b>	<b>Porcentaje</b>
Si	1332	96 %
No	56	4 %
Total	1388	100%

### 1. ¿Dispone de vehículo en su hogar?

1.388 respuestas



**Figura 3.13.** Resultados porcentual pregunta 1.

Del 100% de los encuestados el 96% de personas ha manifestado que cuenta actualmente con vehículo propio en sus hogares y el 4% de personas ha manifestado que no cuenta con un vehículo propio en estos momentos. Llegando a la conclusión de que la mayoría de las personas encuestadas presentan al menos un vehículo en sus hogares, del mismo modo se puede concluir que la mayoría de personas utilizan de un vehículo para la realización de sus actividades cotidianas.

#### 3.2.1.2 PREGUNTA 2

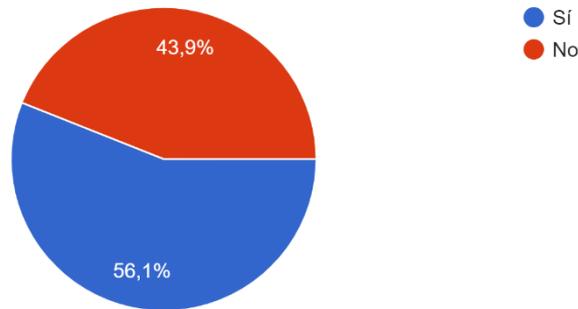
La segunda pregunta está enfocada en conocer si las personas encuestadas han escuchado hablar de los vehículos eléctricos con tecnología V2G y los beneficios que presentan los mismos. La mayoría de las personas encuestadas han oído hablar de los vehículos eléctricos con tecnología V2G, en la Tabla 3.16 y Figura 3.14 se pueden apreciar los resultados de la pregunta 2.

**Tabla 3.16** Resultados numéricos pregunta 2.

Alternativa	Respuesta	Porcentaje
Si	778	56,1 %
No	610	43,9 %
Total	1388	100%

2. ¿Ha escuchado de vehículos eléctricos con tecnología V2G?

1.388 respuestas



**Figura 3.14.** Resultados porcentual pregunta 2.

Del 100% de los encuestados el 43,9% de personas ha manifestado que nunca han escuchado de los vehículos eléctricos con tecnología V2G y el 56,1% de personas ha manifestado que si han escuchado de los vehículos eléctricos con tecnología V2G. Llegando a la conclusión de que por un margen de porcentaje pequeño la mayoría de las personas encuestadas conocen de los vehículos eléctricos con tecnología V2G y los beneficios que traen consigo, en el Ecuador especialmente en el sector de Quito este tipo de vehículos todavía no han sido tomados en cuenta como una alternativa de movilidad ecológica, y mucho menos han sido promocionados para compras de estos vehículos a gran escala en los ciudadanos.

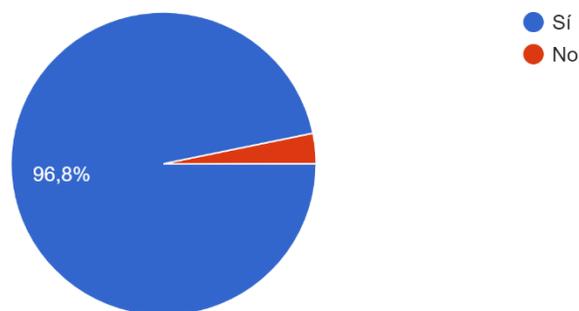
### 3.2.1.3 PREGUNTA 3

La tercera pregunta está enfocada en conocer si las personas encuestadas que cuentan con vehículo propio están dispuestas a migrar al vehículo eléctrico con tecnología V2G y por otro lado si las personas encuestadas que no cuentan con vehículo propio están dispuestas a comprar un vehículo eléctrico con tecnología V2G. La mayoría de las personas encuestadas tienen la predisposición de emigrar o comprar vehículos eléctricos con tecnología V2G, en la Tabla 3.17 y Figura 3.15 se pueden apreciar los resultados de la pregunta 3.

**Tabla 3.17** Resultados numéricos pregunta 3.

Alternativa	Respuesta	Porcentaje
Si	1343	96,8 %
No	45	3,2 %
Total	1388	100%

3. ¿Estaría dispuesto de migrar o comprar un vehículo eléctrico con tecnología V2G?  
1.388 respuestas



**Figura 3.15.** Resultados porcentual pregunta 3.

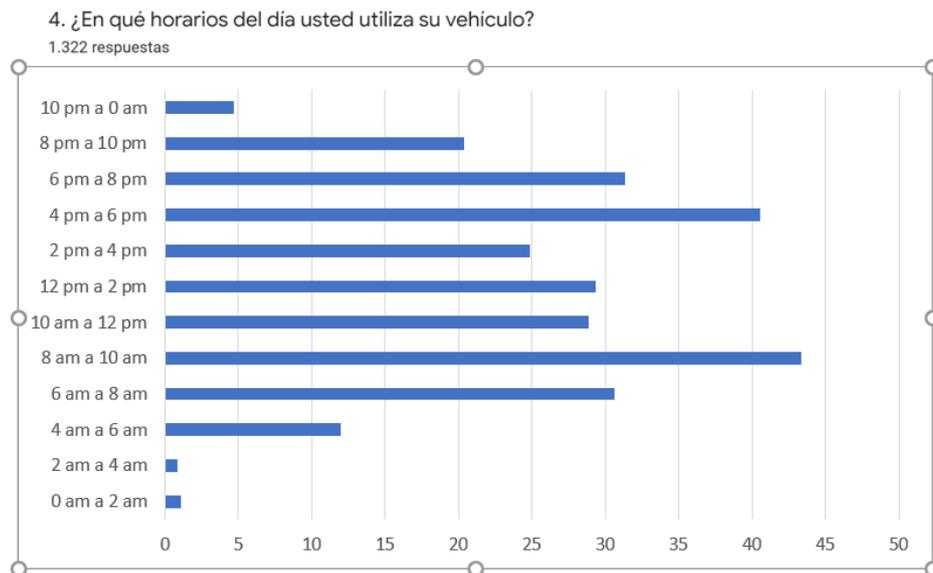
Del 100% de los encuestados el 96,8% de personas ha manifestado que están dispuestos a migrar o adquirir vehículos eléctricos con tecnología V2G en un futuro y el 3,2% de personas ha manifestado que no están dispuestos en adquirir vehículos eléctricos con tecnología V2G. Llegando a la conclusión de que casi todas las personas encuestadas a pesar de que anteriormente no tenían ninguna información sobre los vehículos eléctricos con tecnología V2G y recién están enterándose de la existencia de esta tecnología tienen la predisposición de migrar o adquirir estos vehículos eléctricos.

#### 3.2.1.4 PREGUNTA 4

La cuarta pregunta está enfocada en conocer los hábitos de uso de vehículos en las actividades cotidianas de los ciudadanos encuestados (horas en las que frecuentemente utilizan los vehículos). La mayoría de las personas encuestadas usan sus vehículos en horarios de 8 a 10 de la mañana, en la Tabla 3.18 y Figura 3.16 se pueden apreciar los resultados de la pregunta 4.

**Tabla 3.18** Resultados numéricos pregunta 4.

Alternativa	Respuesta	Porcentaje
0 am a 2 am	14	1,05 %
2 am a 4 am	11	0,83 %
4 am a 6 am	158	11,95 %
6 am a 8 am	405	30,64 %
8 am a 10 am	573	43,34 %
10 am a 12 pm	382	28,9 %
12 pm a 2 pm	388	29,35 %
2 pm a 4 pm	329	24,89 %
4 pm a 6 pm	536	40,54 %
6 pm a 8 pm	414	31,32 %
8 pm a 10 pm	269	20,35 %
10 pm a 0 am	62	4,69 %
Total	1322	100%



**Figura 3.16.** Resultados porcentual pregunta 4.

Las horas en las cuales utilizan con mayor frecuencia los ciudadanos sus vehículos eléctricos son entre las 6 y 10 de la mañana y entre las 4 y 8 de la tarde, estos rangos permiten evidenciar que los ciudadanos encuestados utilizan sus vehículos para movilizarse desde sus hogares a sus trabajos y viceversa, ya que las horas de ingreso y salida a oficinas en el Ecuador son a las 6 de la mañana y 5 de la tarde respectivamente. Existe otro grupo muy grande de ciudadanos que utilizan sus vehículos eléctricos en el rango de 10 de la mañana a 2 de la tarde.

### 3.2.1.5 PREGUNTA 5

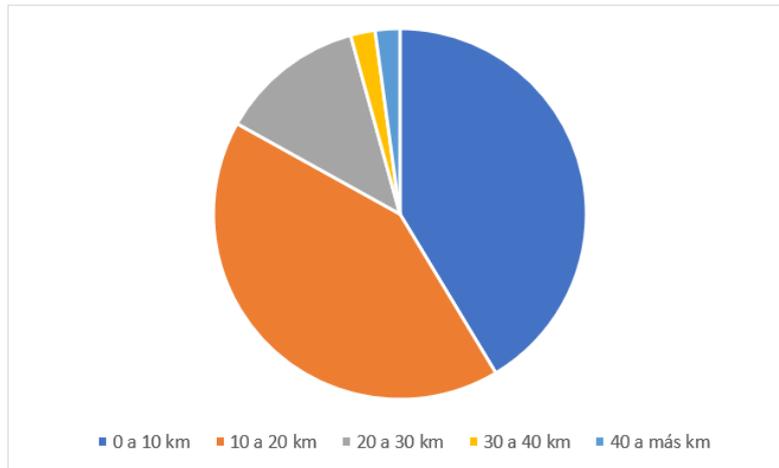
La quinta pregunta está enfocada en conocer los hábitos de uso de vehículos en las actividades cotidianas de los ciudadanos encuestados (kilometraje que presenta el vehículo diariamente). La mayoría de las personas encuestadas presentan en sus vehículos un kilometraje diario de 10 a 20 km, en la Tabla 3.19 y Figura 3.17 se pueden apreciar los resultados de la pregunta 5.

**Tabla 3.19** Resultados numéricos pregunta 5.

Alternativa	Respuesta	Porcentaje
0 a 10 km	544	41,4 %
10 a 20 km	548	41,7 %
20 a 30 km	166	12,63 %
30 a 40 km	28	2,13 %
40 a más km	28	2,13 %
Total	1314	100%

5. Indique el kilometraje aproximado de movilidad que presenta usted en su vehículo por día

1.314 respuestas



**Figura 3.17.** Resultados porcentual pregunta 5.

Acorde a los resultados obtenidos se llega a la conclusión que la mayoría de los ciudadanos encuestados no presentan cantidades grandes de kilometrajes diarios en sus vehículos. El 83,1% apenas presenta un kilometraje diario de 0 a 20 km y apenas el 2,13% de los ciudadanos encuestados presentan kilometrajes superiores a 40km. Como se pudo apreciar en la sección 3.1.4 la autonomía de los vehículos investigados es de más de 180 km, siendo ideales para los kilometrajes que manejan los ciudadanos encuestados.

### 3.2.1.6 PREGUNTA 6

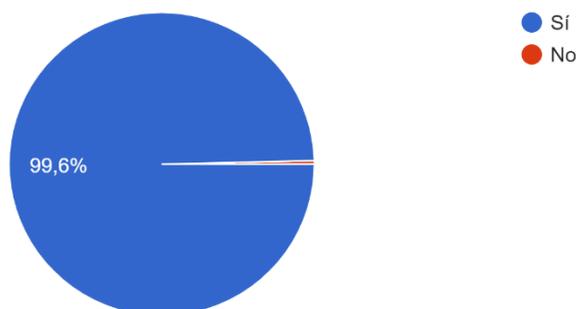
La sexta pregunta está enfocada en conocer si las personas encuestadas que están predispuestas a adquirir vehículos eléctricos con tecnología V2G, pueden y están dispuestos a cambiar sus horarios de recarga de sus vehículos eléctricos (horas en las cuales la curva de demanda de energía eléctrica presenta valores menores, ver sección 3.1.1). La mayoría de las personas encuestadas están dispuestos a recargar las baterías de los vehículos eléctricos en horarios de demanda mínima, en la Tabla 3.20 y Figura 3.18 se pueden apreciar los resultados de la pregunta 6.

**Tabla 3.20** Resultados numéricos pregunta 6.

Alternativa	Respuesta	Porcentaje
Si	1338	99,6 %
No	5	0,4 %
Total	1343	100%

6. ¿Estaría dispuesto de recargar las baterías de los vehículos eléctricos en las horas que menor demanda tiene la ciudad con un descuento a su favor?

1.343 respuestas



**Figura 3.18.** Resultados porcentual pregunta 6.

Del 100% de los encuestados el 99,6% de personas ha manifestado que están dispuestos a recargar las baterías de los vehículos eléctricos en horas de demanda mínima, estos horarios son a partir de las 8 pm hasta las 4 am del siguiente día, sin afectar la movilidad de los ciudadanos encuestados ya que la mayoría de los ciudadanos se movilizan en el día y el 0,4% de personas ha manifestado que no están dispuestos a recargar las baterías de los vehículos eléctricos en horas de demanda mínima debido a que dichos encuestados utilizan los vehículos para movilizarse en dichas horas. Llegando a la conclusión de que la mayoría de las personas encuestadas tienen la disponibilidad de recargar las baterías de los vehículos eléctricos en horas de demanda mínima.

### 3.2.1.7 PREGUNTA 7

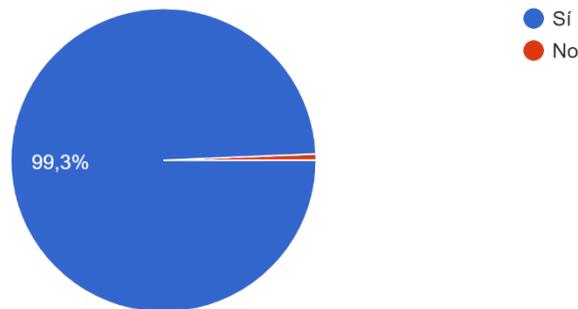
La séptima pregunta está enfocada en conocer si las personas encuestadas que están predispuestas a adquirir vehículos eléctricos con tecnología V2G, pueden y están dispuestos a vender la energía eléctrica almacenada en las baterías de sus vehículos eléctricos a la Empresa Eléctrica Quito (horas en las cuales la curva de demanda de energía eléctrica presenta valores pico, ver sección 3.1.1). La mayoría de las personas encuestadas están dispuestos a vender la energía eléctrica de las baterías de sus vehículos eléctricos en horarios de demanda pico, en la Tabla 3.21 y Figura 3.19 se pueden apreciar los resultados de la pregunta 7.

**Tabla 3.21** Resultados numéricos pregunta 7.

Alternativa	Respuesta	Porcentaje
Si	1334	99,3 %
No	9	0,7 %
Total	1343	100%

7. ¿Estaría dispuesto de vender energía eléctrica que genera su vehículo eléctrico a la Empresa Eléctrica Quito?

1.343 respuestas



**Figura 3.19.** Resultados porcentual pregunta 7.

Del 100% de los encuestados el 99,3% de personas ha manifestado que están dispuestos a vender la energía de las baterías de sus vehículos eléctricos en horas de demanda pico, estos horarios son a partir de las 4 am hasta las 7 am y el 0,7% de personas ha manifestado que no están dispuestos a vender la energía de las baterías de sus vehículos eléctricos en horas de demanda pico. Llegando a la conclusión de que la mayoría de las personas encuestadas tienen la disponibilidad de vender la energía de las baterías de sus vehículos eléctricos en horas de demanda pico.

### **3.2.2 CURVA DE DEMANDA DE LOS USUARIOS INCORPORANDO VES**

En esta sección se muestra los resultados de las curvas de demanda de energía eléctrica modeladas con la incorporación de los vehículos eléctricos utilizando la metodología descrita en la sección 2.2.2, los resultados obtenidos y analizados en la sección anterior de la encuesta (probabilidad de migrar a vehículos eléctricos con tecnología V2G, probabilidad de vender energía en horas de demanda pico a la Empresa Eléctrica Quito y probabilidad de comprar energía eléctrica en horas de demanda mínima) son utilizados para modelar la demanda de energía eléctrica. Como se mencionó en dicha sección la demanda eléctrica requerida por los vehículos eléctricos con tecnología V2G es calculada para cada hora del día para posteriormente ser sumada a la demanda base encontrada en la sección 3.1.1.

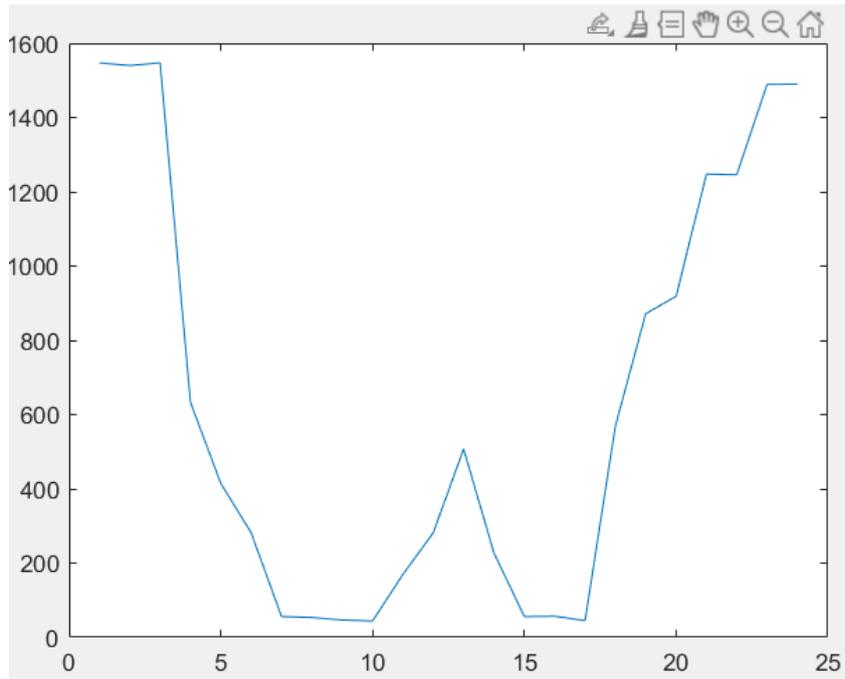
La primera curva de demanda modelada tiene como principal hipótesis que el alimentador 36B presentará una alta penetración de vehículos eléctricos con tecnología V2G, en la Tabla 3.22 se pueden apreciar los resultados numéricos de la demanda de energía eléctrica requerida por los vehículos eléctricos para la carga y descarga de sus baterías, en la Figura 3.20 se puede apreciar el gráfico del comportamiento de la curva de demanda

de energía eléctrica para la recarga de las baterías de los vehículos eléctricos y en la Figura 3.21 se puede apreciar el gráfico del comportamiento de la curva de demanda de energía eléctrica para la descarga de las baterías de los vehículos eléctricos.

**Tabla 3.22** Demanda de energía eléctrica horaria con alta penetración de usuarios con vehículos eléctricos con tecnología V2G.

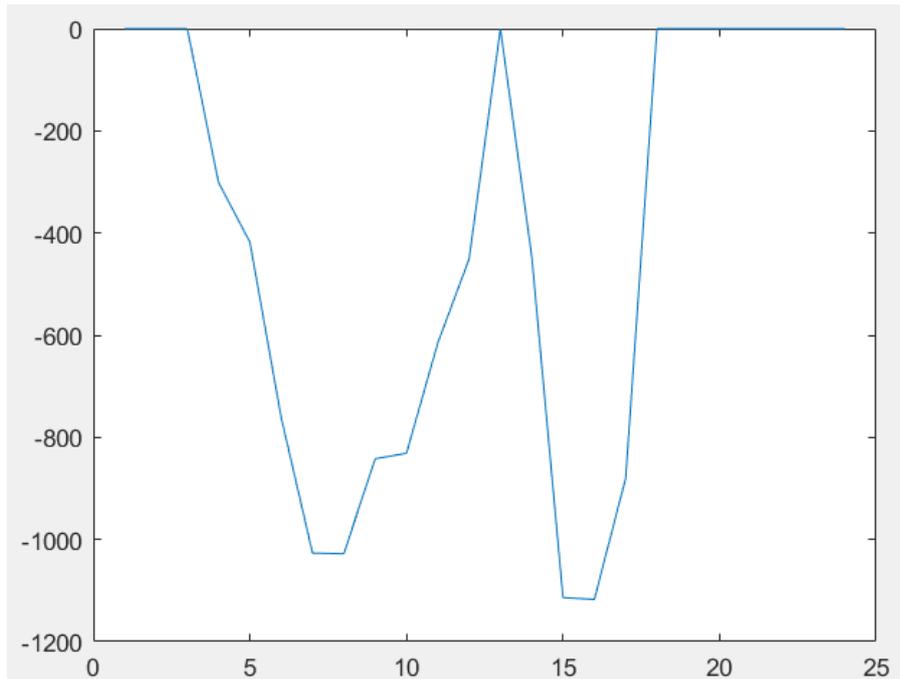
<b>Hora</b>	<b>Demanda para recarga (kWh)</b>	<b>Demanda para descarga (kWh)</b>	<b>Demanda vehículos eléctricos (kWh)</b>
0	1547,125	0	1547,125
1	1540,024	0	1540,024
2	1547,275	0	1547,275
3	633,067	-301,155	331,912
4	414,433	-417,931	-3,498
5	281,826	-761,42	-479,594
6	56,176	-1026,687	-970,511
7	53,518	-1027,92	-974,402
8	46,834	-842,064	-795,23
9	44,186	-831,199	-787,013
10	169,529	-615,358	-445,829
11	281,777	-450,855	-169,078
12	507,279	0	507,279
13	227,011	-445,487	-218,476
14	56,138	-1113,841	-1057,703
15	56,888	-1117,298	-1060,41
16	45,106	-880,193	-835,087
17	569,079	0	569,079
18	871,706	0	871,706
19	918,348	0	918,348
20	1247,662	0	1247,662
21	1245,75	0	1245,75
22	1489,001	0	1489,001
23	1489,88	0	1489,88

Como se puede observar en la Figura 3.20 en el caso de la recarga de las baterías de los vehículos eléctricos, la mayoría de las personas compran energía eléctrica a la Empresa Eléctrica Quito en horario de la noche y madrugada (horas de demanda mínima en el alimentador) llegando a tener un pico máximo de energía comprada de 1547,275 kWh a las 2 de la mañana, por otro lado, se ve que casi ninguna persona compra energía eléctrica en el rango de 6 a 9 de la mañana y de 2 a 4 de la tarde llegando a tener un valor mínimo de energía comprada de 44,186 kWh a las 9 de la mañana.



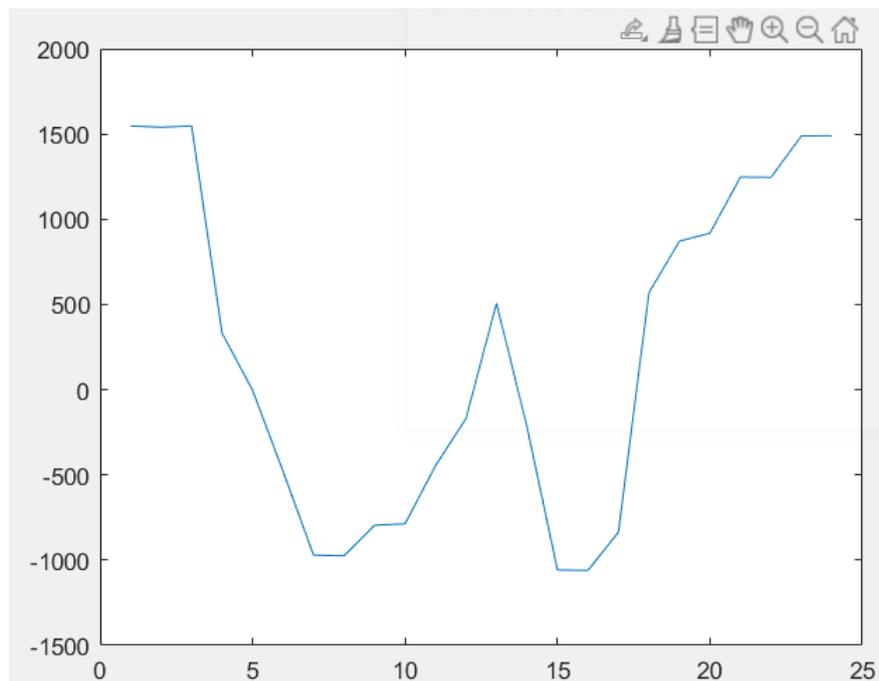
**Figura 3.20.** Curva de demanda de energía eléctrica horaria para recarga de baterías con alta penetración de usuarios con vehículos eléctricos con tecnología V2G.

Como se puede observar en la Figura 3.21 en el caso de la descarga de las baterías de los vehículos eléctricos, la mayoría de las personas venden energía eléctrica a la Empresa Eléctrica Quito en horario de la mañana de 6 am a 10 am y en horario de la tarde de 2 pm a 4 pm (horas de demanda pico en el alimentador) llegando a tener un pico máximo de energía vendida de 1117,298 kWh a las 3 de la tarde, por otro lado, se ve que casi ninguna persona vende energía eléctrica en el rango de 0 a 2 de la mañana y de 5 a 11 de la noche llegando a tener un valor mínimo de energía vendida de 0 kWh en más de una hora de todo el día, es decir, existen horas del día en las cuales ninguna persona vende energía eléctrica.



**Figura 3.21.** Curva de demanda de energía eléctrica horaria para descarga de baterías con alta penetración de usuarios con vehículos eléctricos con tecnología V2G.

En la Figura 3.22 se puede apreciar la curva de demanda de energía eléctrica final que requieren los vehículos eléctricos para su funcionamiento, observando como demanda positiva a la demanda comprada por los usuarios finales a la Empresa Eléctrica Quito y como demanda negativa a la demanda vendida por los usuarios finales a la Empresa Eléctrica Quito. La curva de demanda presenta un pico máximo de 1547,275 kWh a las 2 de la mañana y presenta un pico mínimo de -1060,41 kWh a las 3 de la tarde.



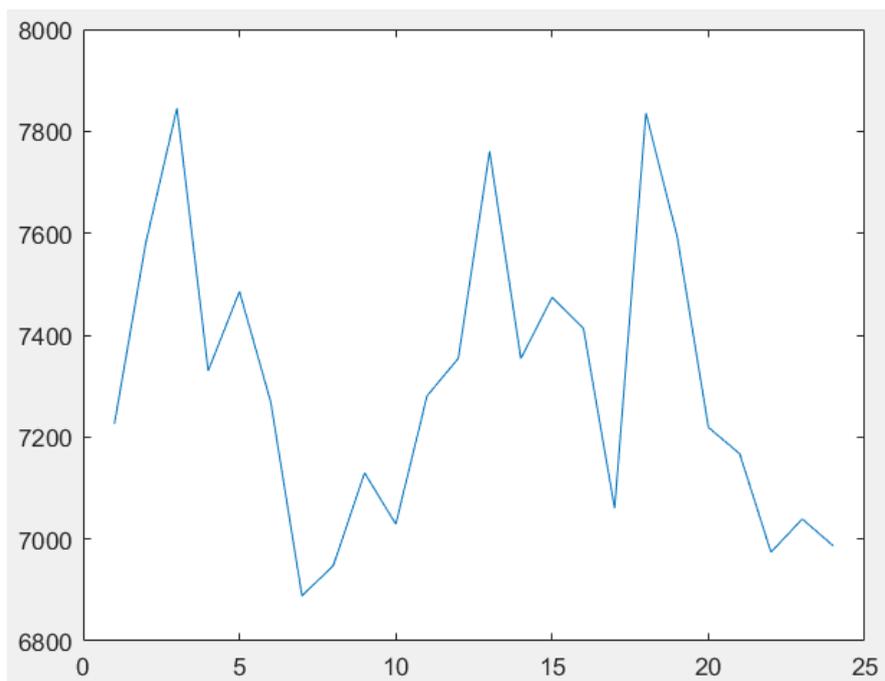
**Figura 3.22.** Curva de demanda de energía eléctrica horaria con alta penetración de usuarios con vehículos eléctricos con tecnología V2G.

Finalmente, en la Tabla 3.23 y Figura 3.23 se pueden apreciar los valores totales de demanda de energía eléctrica que presentará el alimentador 36B sumando los valores de demanda de energía eléctrica base y demanda de energía eléctrica de los vehículos eléctricos.

**Tabla 3.23** Demanda de energía eléctrica horaria con alta penetración de usuarios incorporando vehículos eléctricos con tecnología V2G.

Hora	Demanda vehículos eléctricos (kWh)	Demanda base (kWh)	Demanda total (kWh)
0	1547,125	5678,35895	7225,48395
1	1540,024	6039,83527	7579,85927
2	1547,275	6297,81339	7845,08839
3	331,912	6998,20857	7330,12057
4	-3,498	7489,17385	7485,67585
5	-479,594	7748,50278	7268,90878
6	-970,511	7859,0246	6888,5136
7	-974,402	7922,18755	6947,78555
8	-795,23	7925,23121	7130,00121
9	-787,013	7816,22763	7029,21463
10	-445,829	7726,6407	7280,8117
11	-169,078	7523,56644	7354,48844
12	507,279	7253,21183	7760,49083
13	-218,476	7572,61096	7354,13496
14	-1057,703	8531,88309	7474,18009

15	-1060,41	8474,21097	7413,80097
16	-835,087	7895,08807	7060,00107
17	569,079	7266,69425	7835,77325
18	871,706	6722,1103	7593,8163
19	918,348	6300,52764	7218,87564
20	1247,662	5919,56851	7167,23051
21	1245,75	5728,37897	6974,12897
22	1489,001	5550,25868	7039,25968
23	1489,88	5496,31527	6986,19527



**Figura 3.23.** Curva de demanda de energía eléctrica horaria con alta penetración de usuarios incorporando vehículos eléctricos con tecnología V2G.

Se puede apreciar que el valor pico de la demanda se encuentra en la hora 2 de la mañana y su valor es de 7845,08839 kWh, el valor mínimo de la demanda se encuentra en la hora 6 de la mañana y su valor es de 6888,5136 kWh y el valor promedio de la demanda base es de 7301,826645 kWh.

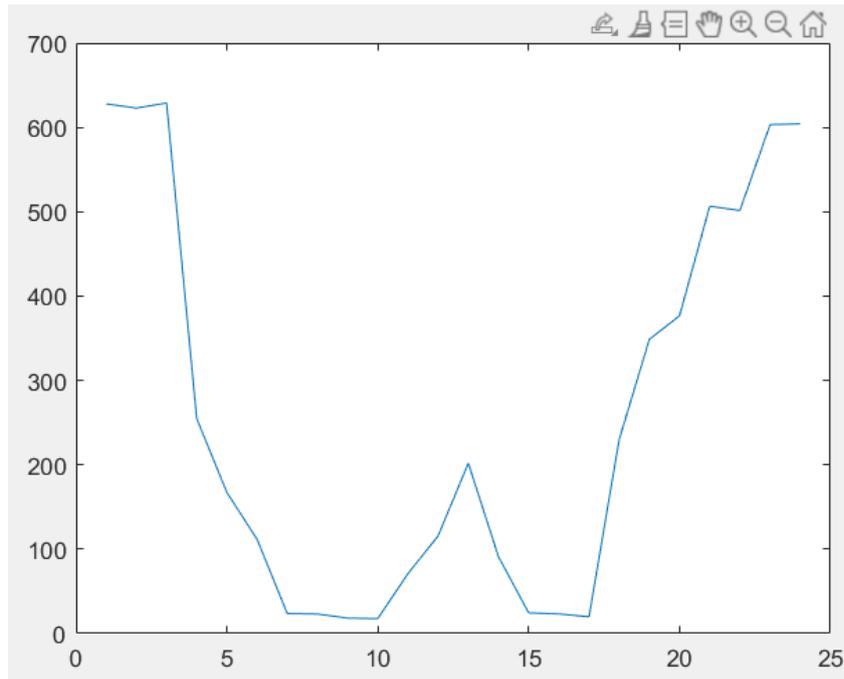
La segunda curva de demanda modelada tiene como principal hipótesis que el alimentador 36B presentará una penetración moderada de vehículos eléctricos con tecnología V2G, en la Tabla 3.24 se pueden apreciar los resultados numéricos de la demanda de energía eléctrica requerida por los vehículos eléctricos para la carga y descarga de sus baterías, en la Figura 3.24 se puede apreciar el gráfico del comportamiento de la curva de demanda de energía eléctrica para la recarga de las baterías de los vehículos eléctricos y en la Figura

3.25 se puede apreciar el gráfico del comportamiento de la curva de demanda de energía eléctrica para la descarga de las baterías de los vehículos eléctricos.

**Tabla 3.24** Demanda de energía eléctrica horaria con penetración moderada de usuarios con vehículos eléctricos con tecnología V2G.

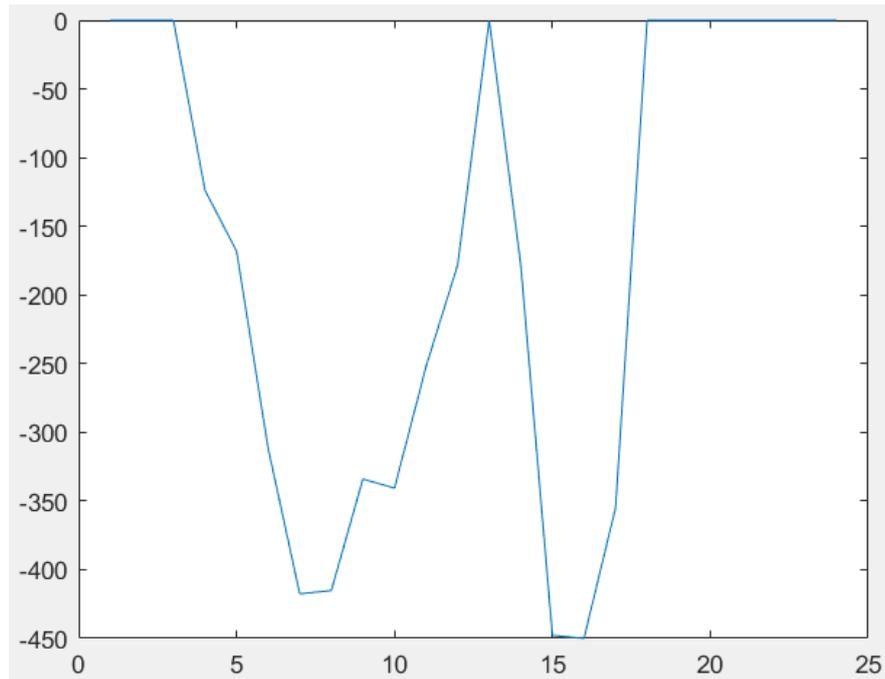
<b>Hora</b>	<b>Demanda para recarga (kWh)</b>	<b>Demanda para descarga (kWh)</b>	<b>Demanda vehículos eléctricos (kWh)</b>
0	627,88	0	627,88
1	622,869	0	622,869
2	628,881	0	628,881
3	254,733	-123,763	130,97
4	167,104	-168,093	-0,989
5	111,714	-311,651	-199,937
6	23,667	-417,563	-393,896
7	23,142	-415,238	-392,096
8	18,271	-334,031	-315,76
9	17,725	-340,624	-322,899
10	71,015	-252,125	-181,11
11	115,8	-178,109	-62,309
12	201,885	0	201,885
13	90,978	-178,34	-87,362
14	24,496	-447,778	-423,282
15	23,267	-449,978	-426,711
16	19,82	-354,967	-335,147
17	229,976	0	229,976
18	348,764	0	348,764
19	376,691	0	376,691
20	506,546	0	506,546
21	501,459	0	501,459
22	603,277	0	603,277
23	604,151	0	604,151

Como se puede observar en la Figura 3.24 en el caso de la recarga de las baterías de los vehículos eléctricos, la mayoría de las personas compran energía eléctrica a la Empresa Eléctrica Quito en horario de la noche y madrugada (horas de demanda mínima en el alimentador) llegando a tener un pico máximo de energía comprada de 628,881 kWh a la 2 de la mañana, por otro lado, se ve que casi ninguna persona compra energía eléctrica en el rango de 6 a 9 de la mañana y de 2 a 4 de la tarde llegando a tener un valor mínimo de energía comprada de 17,725 kWh a las 9 de la mañana.



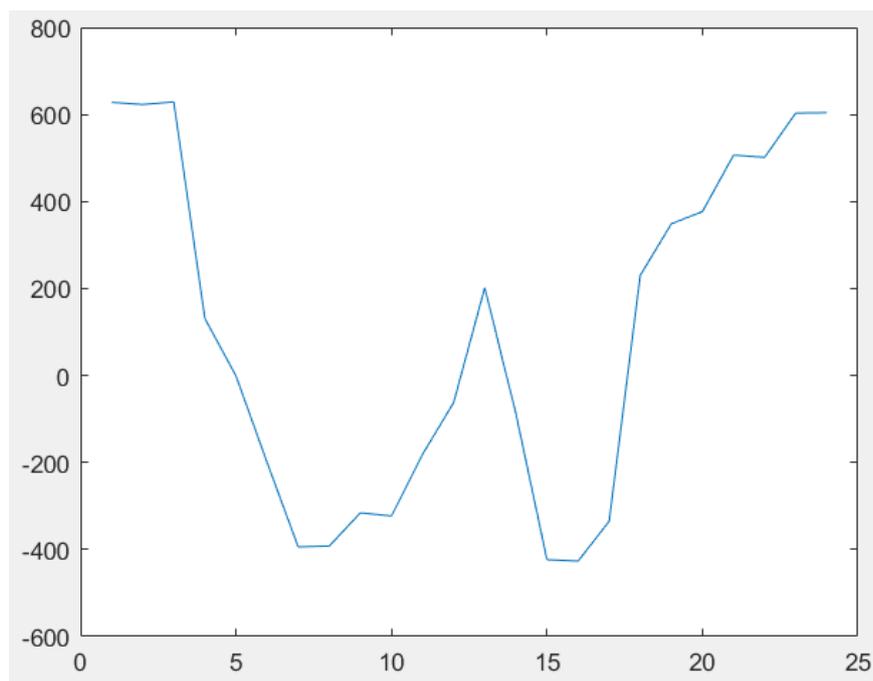
**Figura 3.24.** Curva de demanda de energía eléctrica horaria para recarga de baterías con penetración moderada de usuarios con vehículos eléctricos con tecnología V2G.

Como se puede observar en la Figura 3.25 en el caso de la descarga de las baterías de los vehículos eléctricos, la mayoría de las personas venden energía eléctrica a la Empresa Eléctrica Quito en horario de la mañana de 5 am a 9 am y en horario de la tarde de 2 pm a 4 pm (horas de demanda pico en el alimentador) llegando a tener un pico máximo de energía vendida de 449,978 kWh a las 3 de la tarde, por otro lado, se ve que casi ninguna persona vende energía eléctrica en el rango de 0 a 3 de la mañana y de 5 a 11 de la noche llegando a tener un valor mínimo de energía vendida de 0 kWh en varias horas del día, es decir, existen horas del día en las cuales ninguna persona vende energía eléctrica.



**Figura 3.25.** Curva de demanda de energía eléctrica horaria para descarga de baterías con penetración moderada de usuarios con vehículos eléctricos con tecnología V2G.

En la Figura 3.26 se puede apreciar la curva de demanda de energía eléctrica final que requieren los vehículos eléctricos para su funcionamiento, observando como demanda positiva a la demanda comprada por los usuarios finales a la Empresa Eléctrica Quito y como demanda negativa a la demanda vendida por los usuarios finales a la Empresa Eléctrica Quito. La curva de demanda presenta un pico máximo de 628,881 kWh a las 2 de la mañana y presenta un pico mínimo de -426,711 kWh a las 3 de la tarde.



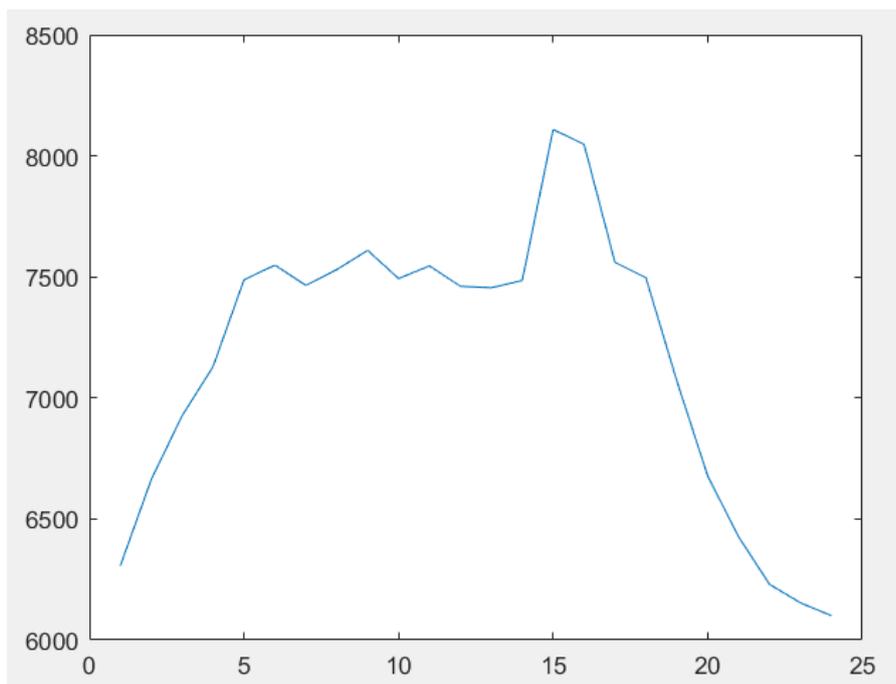
**Figura 3.26.** Curva de demanda de energía eléctrica horaria con penetración moderada de usuarios con vehículos eléctricos con tecnología V2G.

Finalmente, en la Tabla 3.25 y Figura 3.27 se pueden apreciar los valores totales de demanda de energía eléctrica que presentará el alimentador 36B sumando los valores de demanda de energía eléctrica base y demanda de energía eléctrica de los vehículos eléctricos.

**Tabla 3.25** Demanda de energía eléctrica horaria con penetración moderada de usuarios incorporando vehículos eléctricos con tecnología V2G.

<b>Hora</b>	<b>Demanda vehículos eléctricos (kWh)</b>	<b>Demanda base (kWh)</b>	<b>Demanda total (kWh)</b>
0	627,88	5678,35895	6306,23895
1	622,869	6039,83527	6662,70427
2	628,881	6297,81339	6926,69439
3	130,97	6998,20857	7129,17857
4	-0,989	7489,17385	7488,18485
5	-199,937	7748,50278	7548,56578
6	-393,896	7859,0246	7465,1286
7	-392,096	7922,18755	7530,09155
8	-315,76	7925,23121	7609,47121
9	-322,899	7816,22763	7493,32863
10	-181,11	7726,6407	7545,5307
11	-62,309	7523,56644	7461,25744
12	201,885	7253,21183	7455,09683
13	-87,362	7572,61096	7485,24896
14	-423,282	8531,88309	8108,60109

15	-426,711	8474,21097	8047,49997
16	-335,147	7895,08807	7559,94107
17	229,976	7266,69425	7496,67025
18	348,764	6722,1103	7070,8743
19	376,691	6300,52764	6677,21864
20	506,546	5919,56851	6426,11451
21	501,459	5728,37897	6229,83797
22	603,277	5550,25868	6153,53568
23	604,151	5496,31527	6100,46627



**Figura 3.27.** Curva de demanda de energía eléctrica horaria con penetración moderada de usuarios incorporando vehículos eléctricos con tecnología V2G.

Se puede apreciar que el valor pico de la demanda se encuentra en la hora 2 de la tarde y su valor es de 8108,60109 kWh, el valor mínimo de la demanda se encuentra en la hora 11 de la noche y su valor es de 6100,46627 kWh y el valor promedio de la demanda base es de 7165,728353 kWh.

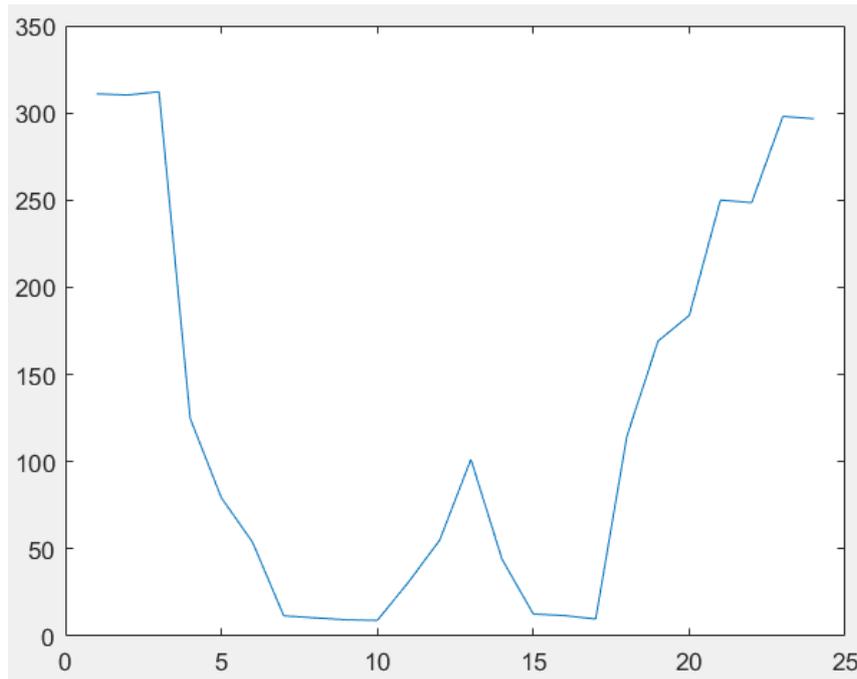
La última curva de demanda modelada tiene como principal hipótesis que el alimentador 36B presentará una baja penetración de vehículos eléctricos con tecnología V2G, en la Tabla 3.26 se pueden apreciar los resultados numéricos de la demanda de energía eléctrica requerida por los vehículos eléctricos para la carga y descarga de sus baterías, en la Figura 3.28 se puede apreciar el gráfico del comportamiento de la curva de demanda de energía eléctrica para la recarga de las baterías de los vehículos eléctricos y en la Figura

3.29 se puede apreciar el gráfico del comportamiento de la curva de demanda de energía eléctrica para la descarga de las baterías de los vehículos eléctricos.

**Tabla 3.26** Demanda de energía eléctrica horaria con baja penetración de usuarios con vehículos eléctricos con tecnología V2G.

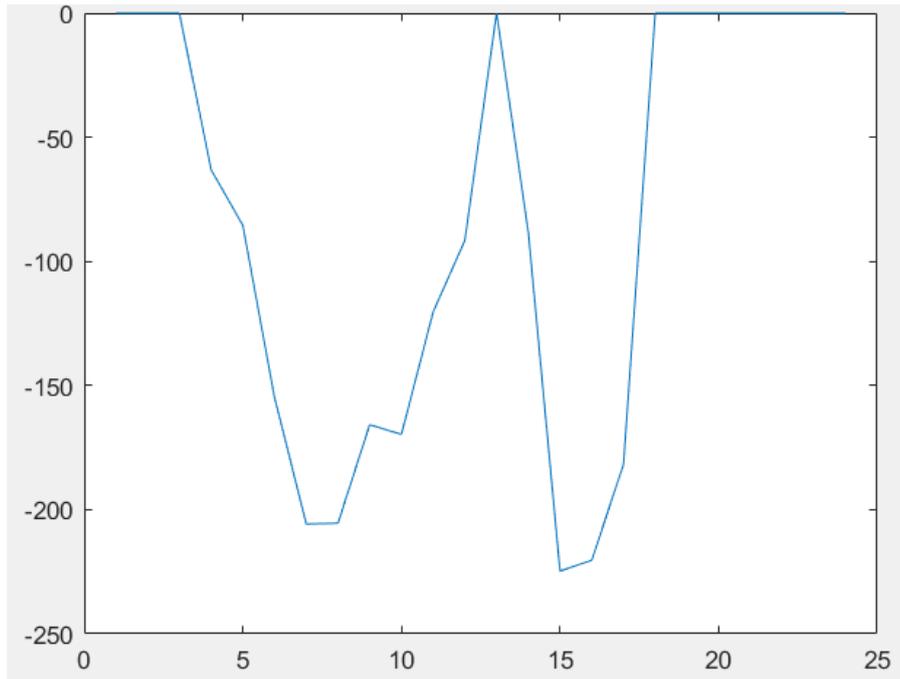
<b>Hora</b>	<b>Demanda para recarga (kWh)</b>	<b>Demanda para descarga (kWh)</b>	<b>Demanda vehículos eléctricos (kWh)</b>
0	310,95	0	310,95
1	310,281	0	310,281
2	312,178	0	312,178
3	124,86	-63,081	61,779
4	79,3	-85,472	-6,172
5	53,848	-154,889	-101,041
6	11,646	-205,748	-194,102
7	10,463	-205,468	-195,005
8	9,345	-165,79	-156,445
9	9,016	-169,688	-160,672
10	30,978	-120,38	-89,402
11	55,045	-91,553	-36,508
12	101,339	0	101,339
13	43,964	-88,267	-44,303
14	12,659	-224,75	-212,091
15	11,777	-220,354	-208,577
16	9,784	-181,902	-172,118
17	114,554	0	114,554
18	169,179	0	169,179
19	183,932	0	183,932
20	250,045	0	250,045
21	248,584	0	248,584
22	298,056	0	298,056
23	296,686	0	296,686

Como se puede observar en la Figura 3.28 en el caso de la recarga de las baterías de los vehículos eléctricos, la mayoría de las personas compran energía eléctrica a la Empresa Eléctrica Quito en horario de la noche y madrugada (horas de demanda mínima en el alimentador) llegando a tener un pico máximo de energía comprada de 312,178 kWh a las 2 de la mañana, por otro lado, se ve que casi ninguna persona compra energía eléctrica en el rango de 5 a 9 de la mañana y de 2 a 4 de la tarde llegando a tener un valor mínimo de energía comprada de 9,016 kWh a las 9 de la mañana.



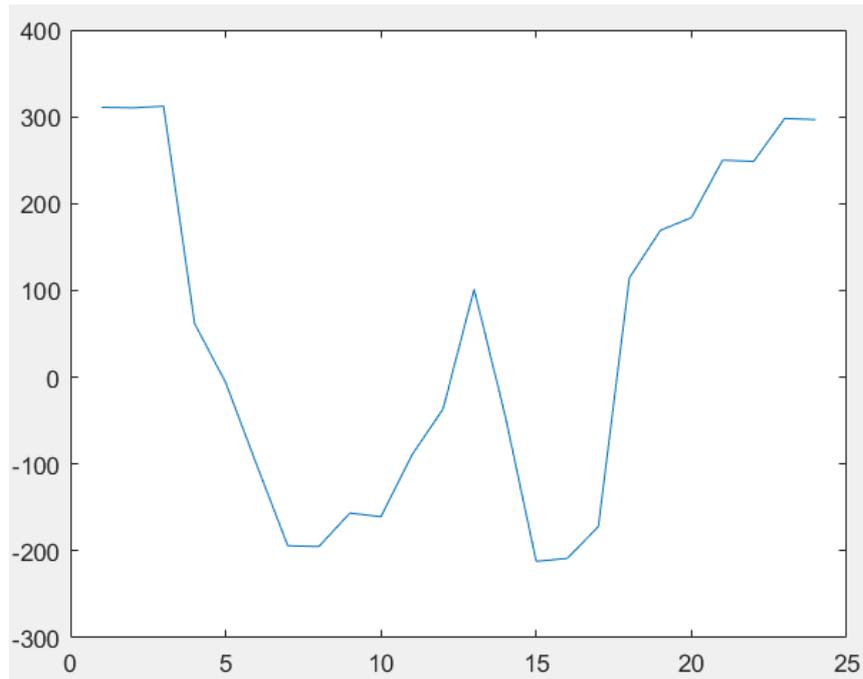
**Figura 3.28.** Curva de demanda de energía eléctrica horaria para recarga de baterías con baja penetración de usuarios con vehículos eléctricos con tecnología V2G.

Como se puede observar en la Figura 3.29 en el caso de la descarga de las baterías de los vehículos eléctricos, la mayoría de las personas venden energía eléctrica a la Empresa Eléctrica Quito en horario de la mañana de 5 am a 9 am y en horas de la tarde de 2 pm a 4 pm (horas de demanda pico en el alimentador) llegando a tener un pico máximo de energía vendida de 224,75 kWh a las 2 de la tarde, por otro lado, se ve que casi ninguna persona vende energía eléctrica en el rango de 0 a 3 de la mañana y de 5 a 11 de la noche llegando a tener un valor mínimo de energía vendida de 0 kWh en varias horas del día, es decir, existen horas del día en las cuales ninguna persona vende energía eléctrica.



**Figura 3.29.** Curva de demanda de energía eléctrica horaria para descarga de baterías con baja penetración de usuarios con vehículos eléctricos con tecnología V2G.

En la Figura 3.30 se puede apreciar la curva de demanda de energía eléctrica final que requieren los vehículos eléctricos para su funcionamiento, observando como demanda positiva a la demanda comprada por los usuarios finales a la Empresa Eléctrica Quito y como demanda negativa a la demanda vendida por los usuarios finales a la Empresa Eléctrica Quito. La curva de demanda presenta un pico máximo de 310,281 kWh a las 1 de la mañana y presenta un pico mínimo de -212,091 kWh a las 2 de la tarde.



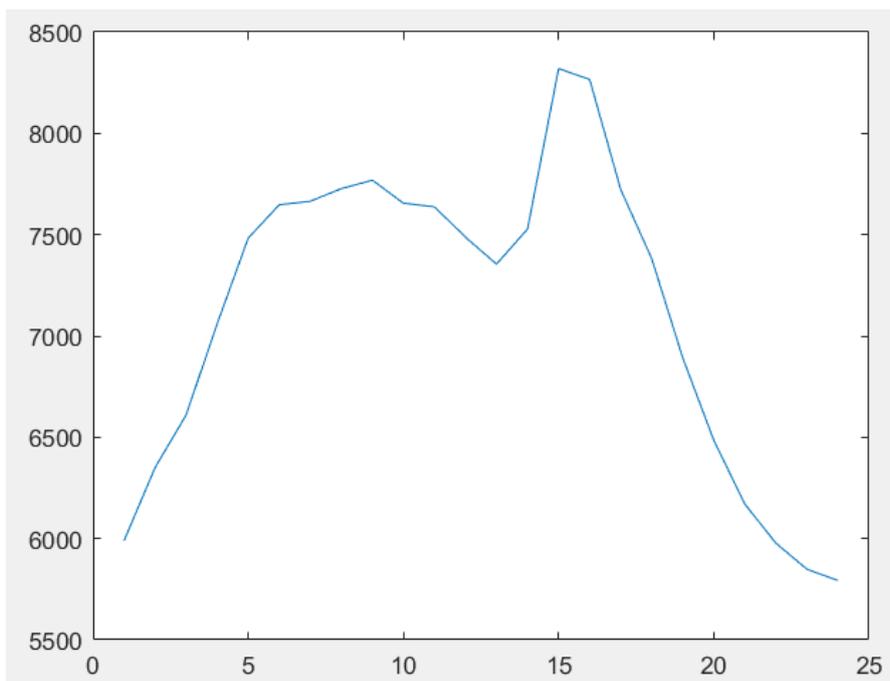
**Figura 3.30.** Curva de demanda de energía eléctrica horaria con baja penetración de usuarios con vehículos eléctricos con tecnología V2G.

Finalmente, en la Tabla 3.27 y Figura 3.31 se pueden apreciar los valores totales de demanda de energía eléctrica que presentará el alimentador 36B sumando los valores de demanda de energía eléctrica base y demanda de energía eléctrica de los vehículos eléctricos.

**Tabla 3.27** Demanda de energía eléctrica horaria con baja penetración de usuarios incorporando vehículos eléctricos con tecnología V2G.

Hora	Demanda vehículos eléctricos (kWh)	Demanda base (kWh)	Demanda total (kWh)
0	310,95	5678,35895	5989,30895
1	310,281	6039,83527	6350,11627
2	312,178	6297,81339	6609,99139
3	61,779	6998,20857	7059,98757
4	-6,172	7489,17385	7483,00185
5	-101,041	7748,50278	7647,46178
6	-194,102	7859,0246	7664,9226
7	-195,005	7922,18755	7727,18255
8	-156,445	7925,23121	7768,78621
9	-160,672	7816,22763	7655,55563
10	-89,402	7726,6407	7637,2387
11	-36,508	7523,56644	7487,05844
12	101,339	7253,21183	7354,55083
13	-44,303	7572,61096	7528,30796
14	-212,091	8531,88309	8319,79209

15	-208,577	8474,21097	8265,63397
16	-172,118	7895,08807	7722,97007
17	114,554	7266,69425	7381,24825
18	169,179	6722,1103	6891,2893
19	183,932	6300,52764	6484,45964
20	250,045	5919,56851	6169,61351
21	248,584	5728,37897	5976,96297
22	298,056	5550,25868	5848,31468
23	296,686	5496,31527	5793,00127



**Figura 3.31.** Curva de demanda de energía eléctrica horaria con baja penetración de usuarios incorporando vehículos eléctricos con tecnología V2G.

Se puede apreciar que el valor pico de la demanda se encuentra en la hora 2 pm y su valor es de 8319,79209 kWh, el valor mínimo de la demanda se encuentra en la hora 11 pm y su valor es de 5793,00127 kWh y el valor promedio de la demanda base es de 7117,364853 kWh.

### 3.2.3 SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBA

En esta sección se muestra los resultados de las simulaciones implementadas en el programa computacional CYMDIST. A continuación, se detallan los resultados obtenidos tanto para la hora en la cual la demanda es la mínima (10 de la noche) como para la hora en la cual la demanda presenta su pico máximo (2 de la tarde).

### 3.2.3.1 SISTEMA DE PRUEBA SIN LA INCORPORACIÓN DE VEs.

En la Tabla 3.28 se evidencian los 7 voltajes más bajos que presenta el sistema de prueba sin la incorporación de vehículos eléctricos para demanda mínima.

**Tabla 3.28** Resultados Voltajes bajos en el sistema de prueba sin la incorporación de VEs demanda mínima.

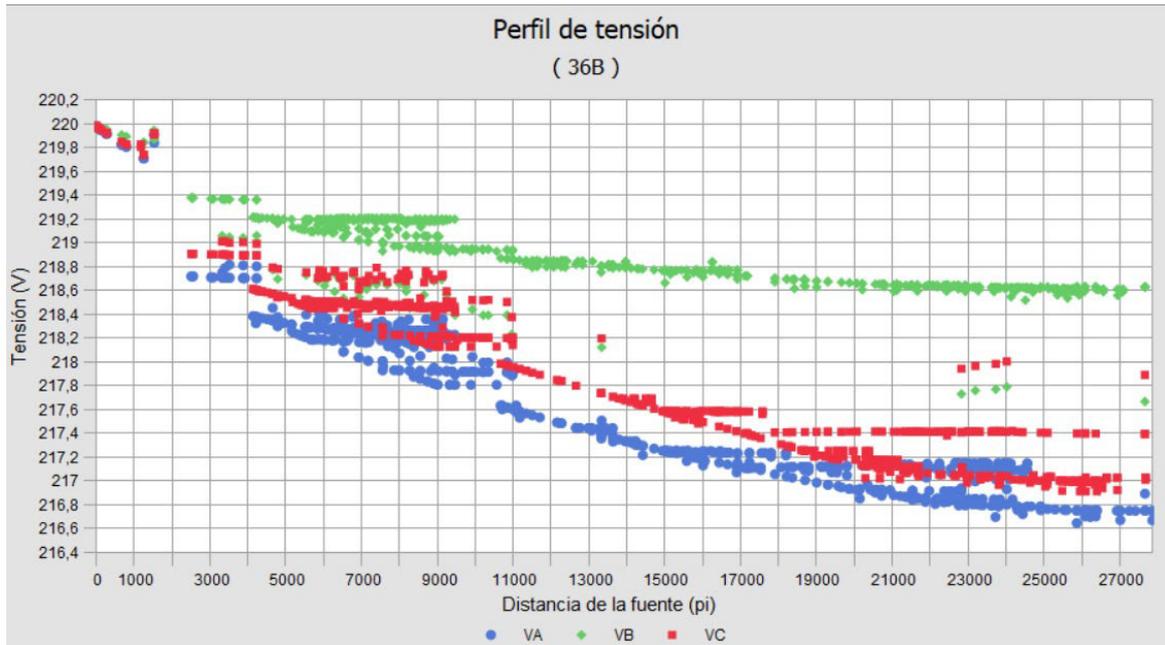
Carga	Voltaje A [V]	Voltaje B [V]	Voltaje C [V]
156495MS-0	216.6	-	-
159030MA-0	-	-	216.9
113818MA-0	-	-	216.9
133082MA-0	-	-	216.9
114196MA-0	-	-	216.9
1214429MA-0	-	-	216.9
130639MA-0	-	-	216.9

En la Tabla 3.29 se evidencian el resumen de los resultados del flujo de potencia en el sistema de prueba sin la incorporación de vehículos eléctricos para demanda mínima.

**Tabla 3.29** Resultados Resumen en el sistema de prueba sin la incorporación de VEs demanda mínima.

Carga	Potencia A [kVA]	Potencia B [KVA]	Potencia C [kVA]
156495MS-0	26.6	-	-
159030MA-0	-	-	19.968
113818MA-0	-	-	19.968
133082MA-0	-	-	19.968
114196MA-0	-	-	19.968
1214429MA-0	-	-	26.624
130639MA-0	-	-	13.312

En la Figura 3.32 se evidencian el comportamiento de los niveles de voltajes en el sistema de prueba sin la incorporación de vehículos eléctricos para demanda mínima.



**Figura 3.32.** Comportamiento voltajes sistema de prueba sin la incorporación de VEs demanda mínima.

En la Tabla 3.30 se evidencian los 7 voltajes más bajos que presenta el sistema de prueba sin la incorporación de vehículos eléctricos para demanda máxima.

**Tabla 3.30** Resultados Voltajes bajos en el sistema de prueba sin la incorporación de VEs demanda máxima.

Carga	Voltaje A [V]	Voltaje B [V]	Voltaje C [V]
156495MS-0	214.8	-	-
87472MA-0	214.8	-	-
122744MA-0	214.8	-	-
543699MS-0	214.9	-	-
571219MS-0	214.9	-	-
285467MA-0	214.9	-	-
113506MA-0	214.9	-	-

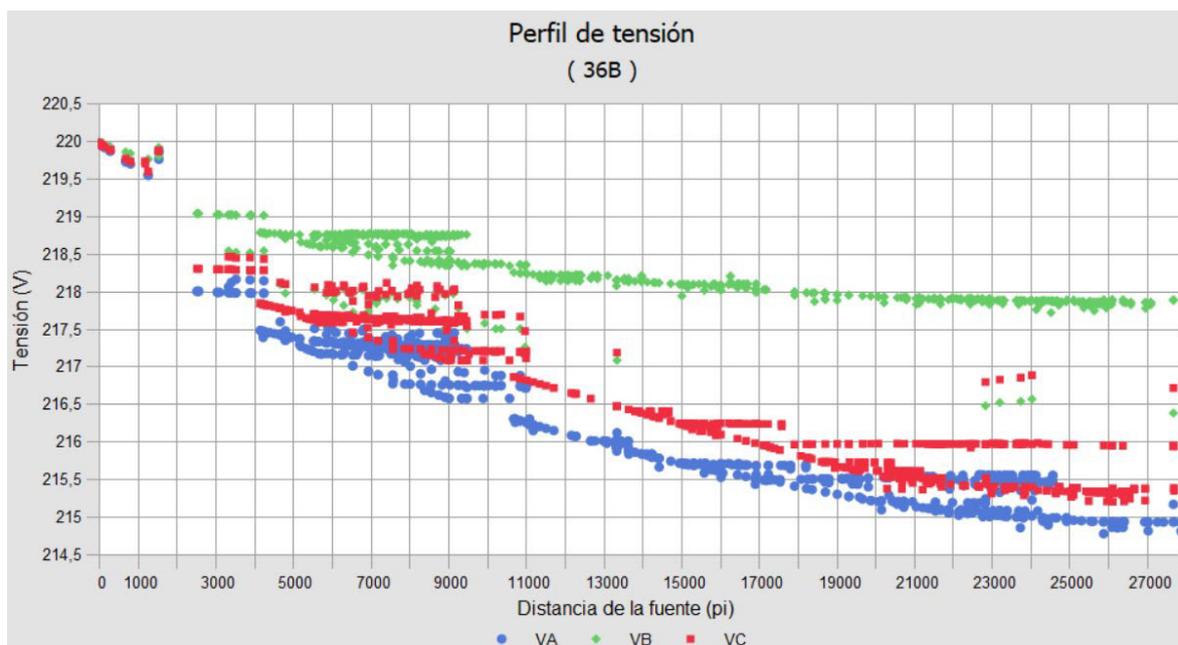
En la Tabla 3.31 se evidencian el resumen de los resultados del flujo de potencia en el sistema de prueba sin la incorporación de vehículos eléctricos para demanda máxima.

**Tabla 3.31** Resultados Resumen en el sistema de prueba sin la incorporación de VEs demanda máxima.

Carga	Potencia A [V]	Potencia B [V]	Potencia C [V]
156495MS-0	41.2	-	-
87472MA-0	30.9	-	-
122744MA-0	30.9	-	-
543699MS-0	20.6	-	-

Carga	Potencia A [V]	Potencia B [V]	Potencia C [V]
571219MS-0	41.2	-	-
285467MA-0	20.6	-	-
113506MA-0	20.6	-	-

En la Figura 3.33 se evidencian el comportamiento de los niveles de voltajes en el sistema de prueba sin la incorporación de vehículos eléctricos para demanda máxima.



**Figura 3.33.** Comportamiento voltajes sistema de prueba sin la incorporación de VEs demanda máxima.

### 3.2.3.2 SISTEMA DE PRUEBA CON ALTA PENETRACIÓN DE VEs.

En la Tabla 3.32 se evidencian los 7 voltajes más bajos que presenta el sistema de prueba con alta penetración de vehículos eléctricos para demanda mínima.

**Tabla 3.32** Resultados Voltajes bajos en el sistema de prueba con alta penetración de VEs demanda mínima.

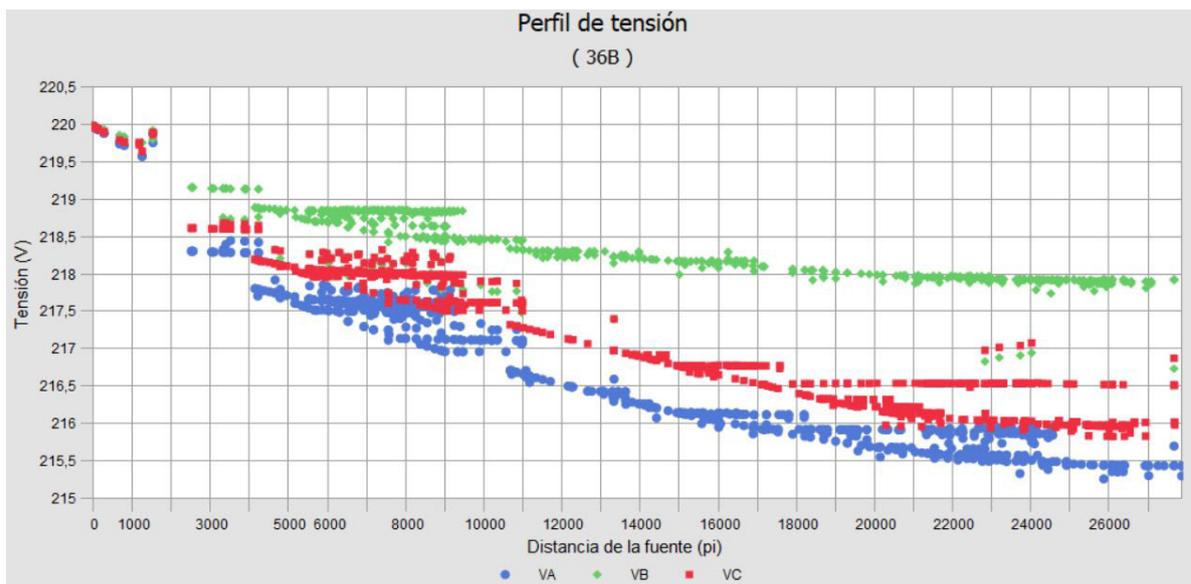
Carga	Voltaje A [V]	Voltaje B [V]	Voltaje C [V]
156495MS-0	215,3	-	-
87472MA-0	215,3	-	-
122744MA-0	215,3	-	-
571219MS-0	215,3	-	-
543699MS-0	215,4	-	-
285467MA-0	215,4	-	-
113506MA-0	215,4	-	-

En la Tabla 3.33 se evidencian el resumen de los resultados del flujo de potencia en el sistema de prueba con alta penetración de vehículos eléctricos para demanda mínima.

**Tabla 3.33** Resultados Resumen en el sistema de prueba con alta penetración de VEs demanda mínima.

Carga	Potencia A [kVA]	Potencia B [kVA]	Potencia C [kVA]
156495MS-0	34,6	-	-
87472MA-0	25,0	-	-
122744MA-0	25,0	-	-
571219MS-0	34,6	-	-
543699MS-0	15,4	-	-
285467MA-0	15,4	-	-
113506MA-0	15,4	-	-

En la Figura 3.34 se evidencian el comportamiento de los niveles de voltajes en el sistema de prueba con alta penetración de vehículos eléctricos para demanda mínima.



**Figura 3.34.** Comportamiento voltajes sistema de prueba con alta penetración de VEs demanda mínima.

En la Tabla 3.34 se evidencian los 7 voltajes más bajos que presenta el sistema de prueba con alta penetración de vehículos eléctricos para demanda máxima.

**Tabla 3.34** Resultados Voltajes bajos en el sistema de prueba con alta penetración de VEs demanda máxima.

Carga	Voltaje A [V]	Voltaje B [V]	Voltaje C [V]
156495MS-0	215	-	-
87472MA-0	215	-	-

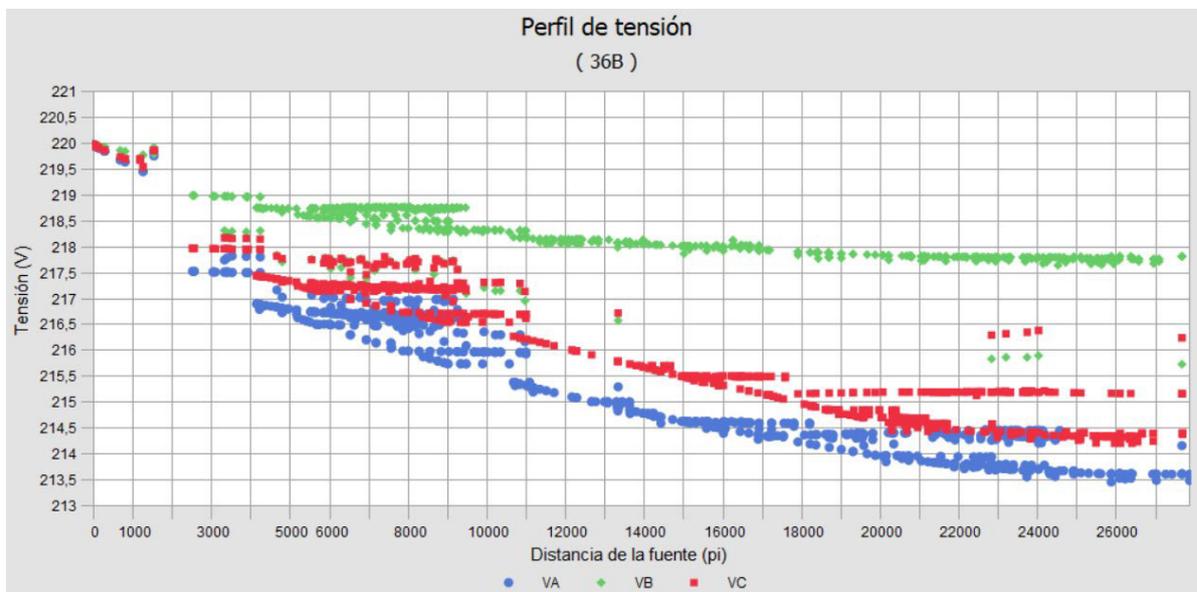
Carga	Voltaje A [V]	Voltaje B [V]	Voltaje C [V]
122744MA-0	215	-	-
543699MS-0	215	-	-
285467MA-0	215	-	-
113506MA-0	215	-	-
571219MS-0	215,1	-	-

En la Tabla 3.35 se evidencia el resumen de los resultados del flujo de potencia en el sistema de prueba con alta penetración de vehículos eléctricos para demanda máxima.

**Tabla 3.35** Resultados Resumen en el sistema de prueba con alta penetración de VEs demanda máxima.

Carga	Potencia A [kVA]	Potencia B [kVA]	Potencia C [kVA]
156495MS-0	46,1	-	-
87472MA-0	38,5	-	-
122744MA-0	38,5	-	-
543699MS-0	30,8	-	-
285467MA-0	30,8	-	-
113506MA-0	30,9	-	-
571219MS-0	46,1	-	-

En la Figura 3.35 se evidencian el comportamiento de los niveles de voltajes en el sistema de prueba con alta penetración de vehículos eléctricos para demanda máxima.



**Figura 3.35.** Comportamiento voltajes sistema de prueba con alta penetración de VEs demanda máxima.

### 3.2.3.3 SISTEMA DE PRUEBA CON MODERADA PENETRACIÓN DE VEs.

En la Tabla 3.36 se evidencian los 7 voltajes más bajos que presenta el sistema de prueba con moderada penetración de vehículos eléctricos para demanda mínima.

**Tabla 3.36** Resultados Voltajes bajos en el sistema de prueba con moderada penetración de VEs demanda mínima.

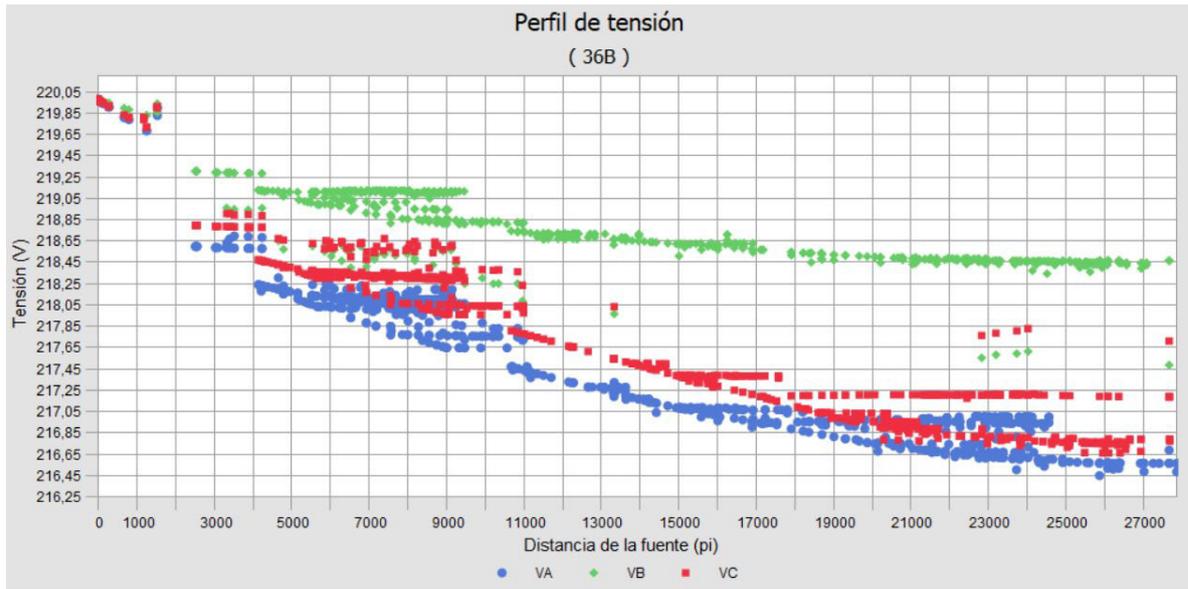
Carga	Voltaje A [V]	Voltaje B [V]	Voltaje C [V]
156495MS-0	216.5	-	-
87472MA-0	216.5	-	-
122744MA-0	216.5	-	-
571219MS-0	216.5	-	-
543699MS-0	216.5	-	-
285467MA-0	216.5	-	-
113506MA-0	216.5	-	-

En la Tabla 3.37 se evidencian el resumen de los resultados del flujo de potencia en el sistema de prueba con moderada penetración de vehículos eléctricos para demanda mínima.

**Tabla 3.37** Resultados Resumen en el sistema de prueba con moderada penetración de VEs demanda mínima.

Carga	Potencia A [kVA]	Potencia B [kVA]	Potencia C [kVA]
156495MS-0	32.6	-	-
87472MA-0	20	-	-
122744MA-0	20	-	-
571219MS-0	32.6	-	-
543699MS-0	13.3	-	-
285467MA-0	13.3	-	-
113506MA-0	13.3	-	-

En la Figura 3.36 se evidencian el comportamiento de los niveles de voltajes en el sistema de prueba con moderada penetración de vehículos eléctricos para demanda mínima.



**Figura 3.36.** Comportamiento voltajes sistema de prueba con moderada penetración de VEs demanda mínima.

En la Tabla 3.38 se evidencian los 7 voltajes más bajos que presenta el sistema de prueba con moderada penetración de vehículos eléctricos para demanda máxima.

**Tabla 3.38** Resultados Voltajes bajos en el sistema de prueba con moderada penetración de VEs demanda máxima.

Carga	Voltaje A [V]	Voltaje B [V]	Voltaje C [V]
156495MS-0	214,9	-	-
87472MA-0	215,0	-	-
122744MA-0	215,0	-	-
543699MS-0	215,0	-	-
285467MA-0	215,0	-	-
113506MA-0	215,0	-	-
571219MS-0	215,0	-	-

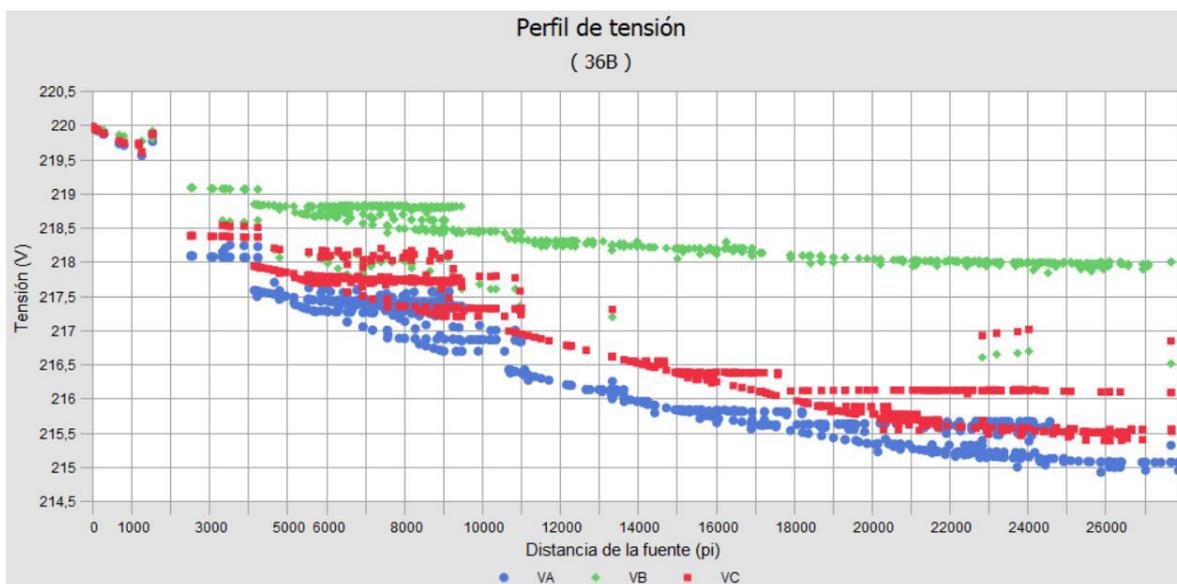
En la Tabla 3.39 se evidencian el resumen de los resultados del flujo de potencia en el sistema de prueba con moderada penetración de vehículos eléctricos para demanda máxima.

**Tabla 3.39** Resultados Resumen en el sistema de prueba con moderada penetración de VEs demanda máxima.

Carga	Potencia A [kVA]	Potencia B [kVA]	Potencia C [kVA]
156495MS-0	37,0	-	-
87472MA-0	30,9	-	-
122744MA-0	30,9	-	-
543699MS-0	20,6	-	-

Carga	Potencia A [kVA]	Potencia B [kVA]	Potencia C [kVA]
285467MA-0	20,6	-	-
113506MA-0	20,6	-	-
571219MS-0	37,0	-	-

En la Figura 3.37 se evidencia el comportamiento de los niveles de voltajes en el sistema de prueba con moderada penetración de vehículos eléctricos para demanda máxima.



**Figura 3.37.** Comportamiento voltajes sistema de prueba con moderada penetración de VEs demanda máxima.

### 3.2.3.4 SISTEMA DE PRUEBA CON BAJA PENETRACIÓN DE VEs.

En la Tabla 3.40 se evidencian los 7 voltajes más bajos que presenta el sistema de prueba con baja penetración de vehículos eléctricos para demanda mínima.

**Tabla 3.40** Resultados Voltajes bajos en el sistema de prueba con baja penetración de VEs demanda mínima.

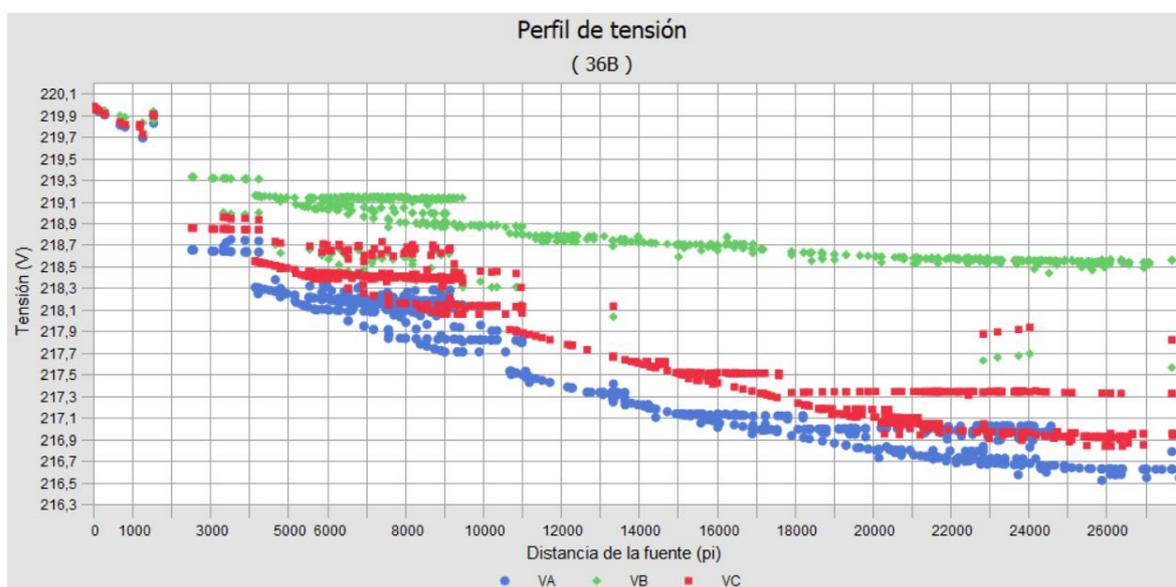
Carga	Voltaje A [V]	Voltaje B [V]	Voltaje C [V]
156495MS-0	216.5	-	-
87472MA-0	216.5	-	-
122744MA-0	216.6	-	-
543699MS-0	216.6	-	-
571219MS-0	216.6	-	-
285467MA-0	216.6	-	-
113506MA-0	216.6	-	-

En la Tabla 3.41 se evidencia el resumen de los resultados del flujo de potencia en el sistema de prueba con baja penetración de vehículos eléctricos para demanda mínima.

**Tabla 3.41** Resultados Resumen en el sistema de prueba con baja penetración de VEs demanda mínima.

Carga	Potencia A [kVA]	Potencia B [kVA]	Potencia C [kVA]
156495MS-0	26.6	-	-
87472MA-0	20.0	-	-
122744MA-0	20.0	-	-
543699MS-0	13.3	-	-
571219MS-0	26.6	-	-
285467MA-0	13.3	-	-
113506MA-0	13.3	-	-

En la Figura 3.38 se evidencia el comportamiento de los niveles de voltajes en el sistema de prueba con baja penetración de vehículos eléctricos para demanda mínima.



**Figura 3.38.** Comportamiento voltajes sistema de prueba con baja penetración de VEs demanda mínima.

En la Tabla 3.42 se evidencian los 7 voltajes más bajos que presenta el sistema de prueba con baja penetración de vehículos eléctricos para demanda máxima.

**Tabla 3.42** Resultados Voltajes bajos en el sistema de prueba con baja penetración de VEs demanda máxima.

Carga	Voltaje A [V]	Voltaje B [V]	Voltaje C [V]
156495MS-0	214,9	-	-
87472MA-0	214,9	-	-
122744MA-0	214,9	-	-
543699MS-0	214,9	-	-
571219MS-0	214,9	-	-

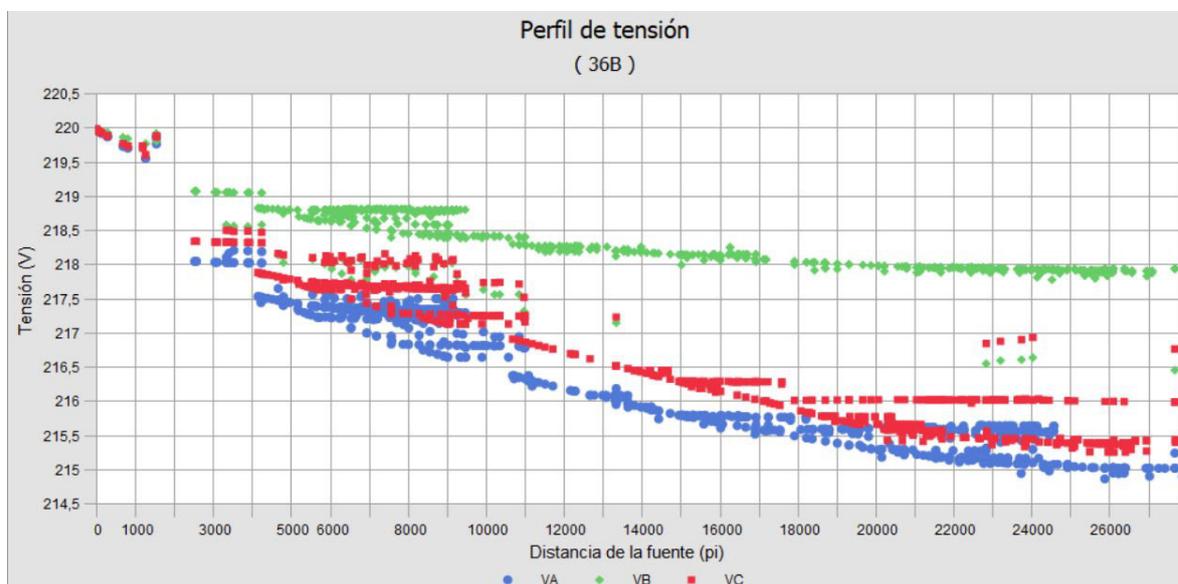
Carga	Voltaje A [V]	Voltaje B [V]	Voltaje C [V]
285467MA-0	215,0	-	-
113506MA-0	215,0	-	-

En la Tabla 3.43 se evidencia el resumen de los resultados del flujo de potencia en el sistema de prueba con baja penetración de vehículos eléctricos para demanda máxima.

**Tabla 3.43** Resultados Resumen en el sistema de prueba con baja penetración de VEs demanda máxima.

Carga	Potencia A [kVA]	Potencia B [kVA]	Potencia C [kVA]
156495MS-0	41.2	-	-
87472MA-0	30.9	-	-
122744MA-0	30.9	-	-
543699MS-0	20.6	-	-
571219MS-0	41.2	-	-
285467MA-0	20.6	-	-
113506MA-0	20.6	-	-

En la Figura 3.39 se evidencia el comportamiento de los niveles de voltajes en el sistema de prueba con baja penetración de vehículos eléctricos para demanda máxima.



**Figura 3.39.** Comportamiento voltajes sistema de prueba con baja penetración de VEs demanda máxima.

### 3.3 SECCIÓN 3: SELECCIÓN DE ALTERNATIVA MÁS ÓPTIMA

#### 3.3.1 EVALUACIÓN TÉCNICA

En esta sección se evidencian los resultados técnicos del sistema de prueba sin vehículos eléctricos y con vehículos eléctricos.

Para el cálculo de los distintos factores se utilizan las ecuaciones citadas en la sección 2.3.1, a continuación, se realizará un ejemplo del uso de las ecuaciones para calcular los factores en el sistema de prueba sin la incorporación de vehículos eléctricos.

Para el cálculo del factor de carga:

$$F_c = \frac{D_p}{D_M} = \frac{7072.32}{8531.88} = 0,82$$

Para el cálculo del factor de utilización:

$$F_u = \frac{D_M}{CI} = \frac{8531.88}{9000} = 0.948$$

Para el cálculo del nivel de voltaje:

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} \times 100 = \frac{214.8 - 220}{220} \times 100 = 2.36\%$$

En el caso de las pérdidas, estas se obtienen directamente desde el programa computacional CYMDIST.

En la Tabla 3.44 se evidencian los factores técnicos que presenta el sistema de prueba sin la incorporación de vehículos eléctricos.

**Tabla 3.44** Factores técnicos sistema de prueba sin la incorporación de VEs.

<b>Factor</b>	<b>Valor</b>
Factor de carga	0.829
Factor de utilización	0.947
Nivel de voltaje	2.36 %
Perdidas	96,97 kW

En la Tabla 3.45 se evidencian los factores técnicos que presenta el sistema de prueba con alta penetración de vehículos eléctricos.

**Tabla 3.45** Factores técnicos sistema de prueba con alta penetración de VEs.

<b>Factor</b>	<b>Valor</b>
Factor de carga	0.931

<b>Factor</b>	<b>Valor</b>
Factor de utilización	0.8717
Nivel de voltaje	2.2%
Perdidas	149.32 kW

En la Tabla 3.46 se evidencian los factores técnicos que presenta el sistema de prueba con moderada penetración de vehículos eléctricos.

**Tabla 3.46** Factores técnicos sistema de prueba con moderada penetración de VEs.

<b>Factor</b>	<b>Valor</b>
Factor de carga	0.88
Factor de utilización	0.9
Nivel de voltaje	2.31%
Perdidas	88.38 kW

En la Tabla 3.47 se evidencian los factores técnicos que presenta el sistema de prueba con baja penetración de vehículos eléctricos.

**Tabla 3.47** Factores técnicos sistema de prueba con baja penetración de VEs.

<b>Factor</b>	<b>Valor</b>
Factor de carga	0.856
Factor de utilización	0.924
Nivel de voltaje	2.31%
Perdidas	92.93 kW

### 3.3.2 EVALUACIÓN FINANCIERA

En esta sección se evidencian los resultados del análisis económico del sistema de prueba sin vehículos eléctricos y con vehículos eléctricos.

Para el cálculo de los distintos factores se utilizan las ecuaciones citadas en la sección 2.3.2. A continuación, se presenta los resultados de ingresos y egresos que presentará el sistema de prueba en los tres escenarios (alto, moderado y bajo) estudiados.

Para el caso de alta penetración de vehículos eléctricos:

**Tabla 3.48** Resumen de presupuesto referencial escenario de alta penetración

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Medidores bidireccionales	250 u	150000
Breaker principal	250 u	10000
Caja de conexión	1 u	7500
Cable solido Nro. 10	1000 m	560
Otros	250 u	5000
<b>TOTAL</b>		<b>173060</b>

En el caso de los ingresos que tendrá la Empresa Eléctrica Quito, se considera la demanda de energía eléctrica base sumada a la demanda de los vehículos eléctricos y su interacción de compra y venta de energía durante el día.

**Tabla 3.49** Flujos de ingresos y egresos escenario de alta penetración

Descripción	Cantidad	Valor Total
Demanda vendida a usuarios finales	161938.7985	17793.44
Demanda comprada a usuarios finales	9831.408	-351.44
Demanda comprada a cenace	161938.7985	-6904.61
<b>Total</b>		<b>10537.39</b>

Para el cálculo del valor actual neto:

$$VAN = \sum_{n=0}^N \frac{I_n - E_n}{(1+i)^n} = -173060 + \sum_{n=0}^3 \frac{10537.39}{(1+0.12)^3} = 130648.47$$

Para el cálculo de tasa interna de retorno:

$$\sum_{n=0}^N \frac{I_n - E_n}{(1+TIR)^n} = 0 = -173060 + \sum_{n=0}^3 \frac{10537.39}{(1+0.12)^3}$$

$$TIR = 0.52$$

Para el cálculo de la relación beneficio/costo:

$$\frac{B}{C} = \frac{INGRESOS [USD]}{EGRESOS [USD]} = \frac{17793.44}{7256.05} = 2.45$$

En la Tabla 3.50 se evidencian los factores financieros que presenta el sistema de prueba al tener una alta penetración de vehículos eléctricos en la red.

**Tabla 3.50** Factores financieros sistema de prueba con alta penetración de vehículos eléctricos.

Factor	3 años	6 años	9 años
VAN	303708.47	519882.16	673750.32
TIR	0.5244	0.7005	0.725
Relación B/C	2.45		

Para el caso de moderada penetración de vehículos eléctricos:

**Tabla 3.51** Resumen de presupuesto referencial escenario de moderada penetración

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Medidores bidireccionales	100 u	60000
Breaker principal	100 u	4000
Caja de conexión	100 u	3000
Cable solido Nro. 10	500 m	280
Otros	100 u	2000
<b>TOTAL</b>		<b>69280</b>

En el caso de los ingresos que tendrá la Empresa Eléctrica Quito, se considera la demanda de energía eléctrica base sumada a la demanda de los vehículos eléctricos y su interacción de compra y venta de energía durante el día.

**Tabla 3.52** Flujo de ingresos y egresos escenario de moderada penetración

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Total</b>
Demanda vendida a usuarios finales	166594.131	17509.9663
Demanda comprada a usuarios finales	3972.26	-141.89
Demanda comprada a cenace	166594.131	-6775.91
<b>Total</b>		<b>10592.17</b>

En la Tabla 3.53 se evidencian los factores financieros que presenta el sistema de prueba al tener una moderada penetración de vehículos eléctricos en la red.

**Tabla 3.53** Factores financieros sistema de prueba con moderada penetración de vehículos eléctricos.

<b>Factor</b>	<b>3 años</b>	<b>6 años</b>	<b>9 años</b>
VAN	305287.155	522584.52	677252.5
TIR	1.745	1.83	1.835
Relación B/C	2.5311		

Para el caso de baja penetración de vehículos eléctricos:

**Tabla 3.54** Resumen de presupuesto referencial escenario de baja penetración

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Medidores bidireccionales	50 u	30000
Breaker principal	50 u	2000
Caja de conexión	50 u	1500
Cable solido Nro. 10	250 m	140
Otros	50 u	1000

Descripción	Unidad	Total
<b>TOTAL</b>		34640

En el caso de los ingresos que tendrá la Empresa Eléctrica Quito, se considera la demanda de energía eléctrica base sumada a la demanda de los vehículos eléctricos y su interacción de compra y venta de energía durante el día.

**Tabla 3.55** Flujo de ingresos y egresos escenario de baja penetración

Descripción	Cantidad	Valor Total
Demanda vendida a usuarios finales	168159.19	17408.55
Demanda comprada a usuarios finales	1977.342	-70.65
Demanda comprada a cenace	168159.19	-6730.18
<b>Total</b>		10607.72

En la Tabla 3.56 se evidencian los factores financieros que presenta el sistema de prueba al tener una baja penetración de vehículos eléctricos en la red.

**Tabla 3.56** Factores financieros sistema de prueba con baja penetración de vehículos eléctricos.

Factor	3 años	6 años	9 años
VAN	305735.47	523351.94	678247.04
TIR	3.635	3.674	3.675
Relación B/C	2.56		

En base a los resultados encontrados en esta sección se puede apreciar que si se ingresa a un sistema de prueba con un mayor número de vehículos eléctricos, los factores técnicos mejoran notablemente, sin embargo para este caso se requiere de una gran inversión en la instalación de puntos de conexión en las casas, pero se puede apreciar que en el análisis financiero no tendría ningún inconveniente si se selecciona la alternativa de ingresar al sistema de prueba la demanda de vehículos eléctricos con un grado alto de penetración.

En la Tabla 3.57 se detalla un cuadro resumen con los resultados obtenidos en los diferentes casos de estudio considerados en el presente trabajo de titulación.

**Tabla 3.57** Cuadro resumen de los casos de estudio.

<b>Factor</b>	<b>Sin EV</b>	<b>Baja Penetración</b>	<b>Moderada Penetración</b>	<b>Alta Penetración</b>
Factor de carga	0.829	0.856	0.88	0.931
Factor de utilización	0.947	0.924	0.9	0.8717
Nivel de voltaje	2.36 %	2.31%	2.31%	2.2%
Perdidas	96,97 kW	92.93 kW	88.38 kW	149.32 kW
VAN	-	305735.47	305287.155	303708.47
TIR	-	3.635	1.745	0.5244

### **3.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En la encuesta desarrollada y distribuida en el presente proyecto de titulación se pudo conocer que en un 96,8% de la población de Tumbaco-Quito tiene la predisposición de comprar un vehículo eléctrico con tecnología V2G para su uso cotidiano, del mismo modo se pudo conocer que casi en su totalidad todos los ciudadanos no tendrían ningún inconveniente de cargar las baterías de sus vehículos eléctricos en horas de demanda mínima y descargar las baterías de sus vehículos eléctricos en horas de demanda máxima, permitiendo esto un mayor control de la curva de demanda de energía eléctrica requerida por la distribuidora y pudiendo gestionar de la mejor manera su infraestructura para el correcto funcionamiento del sistema.

Para el cálculo del valor en dólares de la compra y venta de energía eléctrica de los vehículos eléctricos se realizó un análisis económico evidenciando que la utilización de un vehículo eléctrico resulta más conveniente respecto a la utilización de un vehículo a combustible tanto para el usuario final como para la distribuidora de energía eléctrica, los precios de mantenimiento de un vehículo eléctrico resulta ser mucho menor a lo precios de mantenimiento de un vehículo a combustible.

Por otra parte, se puede apreciar en el modelado de la curva de demanda de vehículos eléctricos que los picos de compra de energía de parte de los usuarios a las empresas distribuidoras son en horas de demanda mínima de 10 a 12 de la noche y de 0 a 3 de la mañana y los picos de venta de energía de parte de los usuarios a las empresas distribuidoras son en horas de demanda pico de 6 a 8 de la mañana y de 2 a 4 de la tarde.

Se puede apreciar que al ingresar vehículos eléctricos en el sistema de distribución del alimentador 36B, en el mismo mejoran sus factores técnicos como lo son factor de carga, niveles de voltaje o pérdidas en las líneas de transmisión, el factor de carga pasó de 0,829 a 0.931 en el instante de ingresar vehículos eléctricos con alta penetración, en cambio si se ingresa con baja penetración pasa de 0,829 a 0,56 siendo mayor la diferencia en la primera alternativa. En el caso de los niveles de voltaje sucede algo semejante en el

momento de tener alta penetración pasa de 2.36% a 2.2% y en el momento de tener baja penetración pasa de 2.36% a 2.31%.

En el análisis financiero se pudo apreciar que el VAN y el TIR es inferior para el caso de alta penetración comparado con el caso de baja penetración debido a la alta inversión que se debe realizar, sin embargo, los valores son positivos llegando a la conclusión de que un proyecto de inserción de vehículos eléctricos con tecnología V2G a gran escala puede llevarse a cabo en la parroquia de Tumbaco, específicamente el alimentador 36B.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- Los vehículos eléctricos con tecnología V2G son vehículos que en los últimos años han venido evolucionando exponencialmente, se tratan de vehículos que permiten a los usuarios finales comprar o vender energía de las baterías de sus carros a las empresas distribuidoras, permitiendo tener una gestión de la demanda y controlando así los puntos máximos o mínimos que presentaría el sistema en todo el día.
- Por medio de la encuesta realizada se pudo apreciar que la aceptación de los ciudadanos a la tecnología de vehículos eléctricos V2G es alta, permitiendo esto que en un futuro muy cercano en la ciudad de Quito se pueda implementar a gran escala políticas que permitan desarrollar y motivar al ingreso de esta tecnología.
- Actualmente en el mercado ya existen una gran variedad de marcas que fabrican vehículos eléctricos, marcas reconocidas como Chevrolet, Nissan o Toyota han empezado a invertir a gran escala en este tipo de vehículos, que inclusive algunos ya dejarán de producir vehículos con motores a combustión.
- En base a la encuesta se puede concluir que la gran mayoría de las personas Quiteñas encuestadas tienen la predisposición de adquirir un vehículo eléctrico en un futuro, y además están en las condiciones de cambiar sus hábitos de uso de vehículo en base a las tarifas de compra y venta de energía eléctrica, permitiendo con esto un correcto manejo de la demanda de energía eléctrica a lo largo del día.
- Al tener un mayor número de vehículos eléctricos para gestionar la demanda de energía del sistema, se puede mejorar sustancialmente los factores técnicos del sistema, mientras vaya disminuyendo el número de vehículos eléctricos ingresados los factores técnicos irán tendiendo a disminuir en su desempeño.
- El nivel de penetración más óptimo en aspectos técnicos para el presente caso de estudio es el ingreso de vehículos eléctricos con un grado de alta penetración, en el alimentador 36B se ingresaron un total de 250 vehículos eléctricos en el sistema, mejorando el factor de carga a 0,93, el factor de utilización a 0,87, el nivel de voltaje a 2.2% y las pérdidas a 145 kW.

- El nivel de penetración más óptimo en aspectos económicos para el presente caso de estudio es el ingreso de vehículos eléctricos con un grado de moderada penetración, en el alimentador 36B se ingresaron un total de 100 vehículos eléctricos.
- El programa computacional CYMDIST es una potente herramienta que permite a los ingenieros eléctricos modelar y simular sistemas eléctricos de distribución, entre los módulos principales se tienen: distribución de carga y flujos de potencia. Además, la forma de visualizar los resultados es de forma amigable tanto numérica como gráficamente.
- El análisis técnico y económico del sistema de distribución de prueba depende principalmente de las variables de entrada consideradas: número de usuarios, probabilidad de que los usuarios utilicen vehículos eléctricos, probabilidad de que los usuarios finales tengan la disponibilidad de cambiar sus hábitos de manejo de sus vehículos eléctricos y precios de compra y venta de la energía eléctrica para el usuario final.
- Un mayor número de usuarios conectado al sistema de distribución de prueba y una mayor probabilidad de que los usuarios utilicen vehículos eléctricos, permite que el sistema presente una gran cantidad de energía por parte de los vehículos eléctricos, conllevando esto a que se tenga una mayor flexibilidad en la operación de compra y venta de la energía de los vehículos eléctricos hacia la red, mejorando considerablemente los aspectos técnicos del sistema.
- Un precio mayor en la compra de energía eléctrica para los vehículos, generará que los usuarios finales no adquieran estos vehículos, disminuyendo la probabilidad de uso de vehículos eléctricos y reduciendo los beneficios técnicos que presentaría el sistema de distribución, por el contrario un precio menor en la compra de energía eléctrica para los vehículos, permitirá que los usuarios finales se incentiven en adquirir estos vehículos, mejorando notoriamente los beneficios técnicos del sistema.
- Un precio mayor en la venta de energía eléctrica desde los vehículos eléctricos incentivará a que los usuarios finales consideren al vehículo como un medio de generación de energía eléctrica, caso contrario si el precio de venta de energía eléctrica desde los vehículos eléctricos es muy bajo los usuarios finales preferirían comprar vehículos eléctricos que no permitan el flujo de energía desde el vehículo hacia el sistema eléctrico, debido a los costos de estos.
- Los costos de mantenimiento en vehículos eléctricos resultan mucho más baratos que los costos de mantenimiento de vehículos a combustión, esto permite que los costos de

venta y compra de energía de los vehículos eléctricos sean más atractivos para los usuarios finales.

- El costo de inversión y utilización de un vehículo eléctrico es inferior respecto al costo de inversión y utilización de un vehículo a combustión, además la utilización de vehículos eléctricos trae consigo grandes beneficios ambientales eliminando el uso de combustible.
- Con la eliminación de los subsidios de los combustibles en el Ecuador, en los últimos meses ha incrementado sustancialmente el precio de todos los combustibles, generando que los vehículos a combustión requieran de una mayor cantidad de dinero para su operación provocando que disminuya su popularidad respecto a los vehículos eléctricos.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

- Las condiciones de vida de los consumidores finales en el Ecuador presentan grandes diferencias entre los diferentes sectores. El presente proyecto de titulación fue desarrollado en un alimentador con usuarios de estrato alto, se recomienda realizar un análisis de la disponibilidad de los consumidores finales en barrio de mediano y bajo estrato, para poder evidenciar las diferencias en la aceptación o no de la tecnología de vehículos eléctricos V2G.
- El estudio del presente proyecto de titulación se desarrolló en un alimentador en el cual predominaban los consumidores residenciales, se recomienda realizar un análisis en un alimentador donde predomine la carga industrial para analizar la factibilidad de ingresar estaciones de carga dentro de las industrias, así como conocer las ventajas o desventajas de los vehículos eléctricos ingresando a estos alimentadores.
- En el presente proyecto se utilizó el módulo de distribución de carga de CYMDIST para conocer la demanda individual de los consumidores, se recomienda empezar a recolectar información de la demanda individual por usuario mediante mediciones horarias para tener datos más reales en el sistema de prueba.
- Se recomienda realizar y comparar un estudio técnico-económico de la inserción de vehículos eléctricos por regiones, ya que en el Ecuador existe una gran diferencia social entre las diferentes regiones, permitiendo al investigador tener un mayor panorama de la problemática en el Ecuador.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. DW, «Ciudad inteligente Ámsterdam revoluciona la energía», *DW Español*, 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=cOsF6K0m3k0> (accedido abr. 27, 2021).
- [2] L. Isla, M. Singla, M. Rodríguez-Porcel, y I. Granada, «Análisis de tecnología, industria y mercado para vehículos eléctricos en América Latina y Caribe», *Bid*, p. 78, 2019.
- [3] BloombergNEF, «Electric Vehicle Outlook 2020», 2020. .
- [4] S. Letendre y P. Denholm, «ELECTRIC & HYBRID CARDS NEW LOAD», *Energy*, dic. 2006.
- [5] S. E. Letendre y W. Kempton, «The V2G concept: a new model for power?», *Public Util. Fortnightly*, vol. 140, n.º 4, pp. 16-26, feb. 2002, doi: 10.1177/003754979306000308.
- [6] ARCONEL, «Pliego Tarifario Para Las Empresas Eléctricas de Distribución - Servicio Público de Energía Eléctrica», Resolución Nro. ARCONEL – 035/19, 2019.
- [7] Jose Manuel Rabadán, «Historia del vehículo eléctrico - Electromovilidad», *Electromovilidad*, 2018. <http://electromovilidad.net/historia-del-vehiculo-electrico/> (accedido jul. 24, 2020).
- [8] I. Sanz Arnaiz, «Análisis de la evolución y el impacto de los vehículos eléctricos en la economía europea», trabajo de fin de grado, Universidad Pontificia de Madrid, Madrid, Esp., 2015.
- [9] C. C. Chan, «An Overview of Electric Vehicle Technology», *Proc. IEEE*, vol. 81, n.º 9, pp. 1202-1213, sep. 1993, doi: 10.1109/5.237530.
- [10] M. Bellis, «The History of Electric Vehicles», 2019. .
- [11] F. Martín Moreno, «Vehículos Eléctricos . Historia , Estado Actual Y Retos Futuros», *Esuropean Sci. J.*, vol. 7881, n.º May, pp. 118-131, may 2016.
- [12] C. C. Chan, «The state of the art of electric and hybrid vehicles», *Proc. IEEE*, vol. 90, n.º 2, pp. 247-275, feb. 2002, doi: 10.1109/5.989873.
- [13] M. S. Alegre Buj, «Modelado Del Vehículo Eléctrico E Híbrido Paralelo Por Medio De Matlab/Simulink Y Planificación De Estaciones De Carga Mediante Sistemas De Información Geográfica Y Algoritmos Genéticos Control, Telemática Y Química Aplicada a La Ingeniería», Tesis Doctoral, Universidad Nacional De Educación A Distancia, Madrid, Esp., 2017.
- [14] J. Alcívar, «Diseño , implementación y análisis de un prototipo de vehículo híbrido», tesis fin de grado, ESPOL, Guayaquil, Ec., 2006.
- [15] D. Ranawat y M. P. R. Prasad, «A Review on Electric Vehicles with perspective of Battery Management System», *3rd Int. Conf. Electr. Electron. Commun. Comput. Technol. Optim. Tech. ICECCOT 2018*, n.º December, pp. 1539-1544, dic. 2018, doi: 10.1109/ICECCOT43722.2018.9001321.
- [16] O. M. Govardhan, «Fundamentals and Classification of Hybrid Electric Vehicles Abstract »:, *Int. J. Eng. Tech.*, vol. 3, n.º 5, pp. 194-198, 2017.
- [17] S. Jain y L. Kumar, «Fundamentals of Power Electronics Controlled Electric Propulsion», en *Power Electronics Handbook*, 4.ª ed., Massachusetts, EUA: Elsevier Inc., pp. 1023-1065.
- [18] R. M. Dell, P. T. Moseley, y D. A. J. Rand, «Progressive Electrification of Road Vehicles», en *Towards Sustainable Road Transport*, Oxford, UK: Elsevier Inc., 2014, pp. 157-192.

- [19] B. G. Pollet, I. Staffell, J. L. Shang, y V. Molkov, «Fuel-cell (hydrogen) electric hybrid vehicles», en *Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance: Towards Zero Carbon Transportation*, 1.<sup>a</sup> ed., Cambridge, UK: Elsevier Inc., 2014, pp. 685-735.
- [20] Endesa, «La eMobility y los coches eléctricos», 2019. <https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-emobility-coches-electricos> (accedido jul. 30, 2020).
- [21] B. Bastidas, «ESTUDIO DE ESTRATEGIAS PARA LA INSERCIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS TIPO TAXI EN LA CIUDAD DE QUITO», Tesis Magister, Escuela Politecnica Nacional, Quito, Ecuador, 2019.
- [22] Simón Corporate, «El vehículo eléctrico: elementos principales y funcionamiento», 2019. <https://www.simonelectric.com/blog/el-vehiculo-electrico-elementos-principales-y-funcionamiento> (accedido jul. 30, 2020).
- [23] S. Calle y C. Cañizares, «Propuesta De Mecanismos De Inclusión De Vehículos Eléctricos En El Sector Residencial Y Esquemas De Tarifación Horaria En El Sector Industrial En Ecuador», Tesis de fin de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ec., 2019.
- [24] P. Lombardi, S. M. Ieee, P. Vasquez, S. M. Ieee, y Z. A. S. Senior, «Plug-in Electric Vehicles as storage devices within an Autonomous Power System . Optimization issue».
- [25] M. Yilmaz y P. T. Krein, «Review of the impact of vehicle-to-grid technologies on distribution systems and utility interfaces», *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, n.º 12, pp. 5673-5689, dic. 2013, doi: 10.1109/TPEL.2012.2227500.
- [26] W. Kempton y A. Dhanju, «Electric Vehicles with V2G», *Wind. Int.*, vol. 2, n.º July, pp. 18-21, 2006, [En línea]. Disponible en: <http://www.udel.edu/V2G/docs/KemptonDhanju06-V2G-Wind.pdf>.
- [27] P. M. Pousada da Rocha, «Impact of vehicle to grid in the power system dynamic behaviour», tesis doctoral, Universidad de Porto, Porto, PT, 2011.
- [28] D. Sutanto, «Alternative energy resource from electric transportation», *2004 1st Int. Conf. Power Electron. Syst. Appl. Proc.*, pp. 149-154, 2004.
- [29] J. Coves, «Coche eléctrico La tecnología V2G permitirá que sea una fuente de ingresos», *La vanguardia*, 2020. <https://www.lavanguardia.com/motor/eco/20201006/33225/coche-electrico-sera-fuente-ingresos-economicos.html> (accedido abr. 27, 2021).
- [30] J. López, «Los principales beneficios que aporta la tecnología V2G», *Movilidad electrica*, 2019. <https://movilidadelectrica.com/beneficios-de-la-tecnologia-v2g/> (accedido abr. 27, 2021).
- [31] F. Avila y F. Gonzalez, «Conexión de vehículos a la red eléctrica (V2G)», Chile.
- [32] SAE, «J1772\_ SAE Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler - SAE International».
- [33] T. Gonen, *Electric Power Distribution System Engineering*. New York, USA, 2008.
- [34] S. Ramirez, *Redes de Distribución de Energía*, 3ra. ed. Manizales, Col.: Univ. Nacional de Colombia, 2004.
- [35] X. Segura y S. Dávila, «Estudio y gestión de la demanda eléctrica», Quito, 2013.

- [36] ARCONEL, «Plan Maestro de Electrificación 2019-2027», 2019.
- [37] S. Díaz-Pérez, Y. Gómez-Charris, J. Silva-Ortega, y E. Noriega-Angarita, «Estudio comparativo de modelos de mercados eléctricos en países de América Latina», *Espacios*, vol. 38, n.º 58, sep. 2017.
- [38] CONELEC, «Procedimientos del Mercado Eléctrico Mayorista», 2000.
- [39] T. Esteve, «Discriminación horaria en la tarifa eléctrica», *65Ymas.Com*, 2020. [https://www.65ymas.com/economia/consumo/discriminacion-horaria-tarifa-electrica\\_15843\\_102.html](https://www.65ymas.com/economia/consumo/discriminacion-horaria-tarifa-electrica_15843_102.html) (accedido ago. 10, 2020).
- [40] CYME International, «CYME - Software, Análisis de sistemas de distribución», *Análisis de sistemas de distribución CYMDIST*, 2018. <http://www.cyme.com/es/software/cymdist/> (accedido ago. 26, 2021).
- [41] CYME International, *Manual cyme distribución de carga*. 2021.
- [42] CYME International, *Manual cyme flujo de carga*. .
- [43] J. Muyulema, «Estudio De La Composición De Las Pérdidas De Energía En La Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S. A.», tesis fin de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ec., 2008.
- [44] ARCONEL, «Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica», RESOLUCIÓN Nro. ARCONEL-053/18, 2018.
- [45] D. Romero, «Modelo de incentivos para la reducción de pérdidas de energía eléctrica en Colombia», *Rev. la Maest. en Derecho Económico*, vol. 6, n.º 6, pp. 221-257, 2013, [En línea]. Disponible en: noviembre.
- [46] A. Tama, «Las Pérdidas De Energía Eléctrica», *Criell*, vol. 33, pp. 12-17, 2014.
- [47] V. Taco, «Análisis en los primarios de distribución de las subestaciones No. 02, No. 10, No. 32 y No. 53 pertenecientes a la Empresa Eléctrica Quito S.A. para reducir pérdidas», Tesis fin de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ec., 2006.
- [48] M. P. Muñoz, *VAN y TIR*. Cl.
- [49] A. García, R. Acero de la Cruz, y J. Perea, *Análisis de inversiones*, vol. 4. Arg., 2007.
- [50] C. Aching, *Matemáticas financieras para toma de decisiones empresariales*. 2006.
- [51] T. Sanchez, *Administración de Proyectos*. Quito, Ec., 2007.
- [52] diariomotor, «Nissan LEAF 2021 - Precios y versiones, características», *diariomotor*, 2021. <https://www.diariomotor.com/coche/bmw-i3/> (accedido jul. 21, 2021).
- [53] Nissan, «Nissan LEAF». Quito-Ecuador, 2021.
- [54] Somoselectricos, «La tecnología V2G (vehículo a red) podría ser una opción para los coches de Tesla», *somoselectricos*. <https://somoselectricos.com/tesla-podria-volver-incluir-la-tecnologia-vehiculo-a-red-v2g/> (accedido jul. 23, 2021).
- [55] diariomotor, «Tesla Model 3», *diariomotor*. <https://www.diariomotor.com/coche/tesla-model-3/#caracteristicas> (accedido jul. 23, 2021).
- [56] Tesla, «Model 3», *Tesla*. [https://www.tesla.com/es\\_es/model3](https://www.tesla.com/es_es/model3) (accedido jul. 23, 2021).

- [57] Honda, «Honda estrena un nuevo sistema de carga eléctrica bidireccional», *Honda*, 2021. <https://www.diariomotor.com/coche/bmw-i3/> (accedido jul. 25, 2021).
- [58] diariomotor, «Honda e», *diariomotor*, 2021. <https://www.diariomotor.com/coche/honda-e/> (accedido jul. 25, 2021).
- [59] Honda, «Honda e», *Honda*, 2021. <https://www.honda.es/cars/new/honda-e/overview.html> (accedido jul. 25, 2021).
- [60] Bmw, «Movilidad eléctrica de BMW», *bmw*, 2021. <https://www.bmw.com.ec/es/topics/fascination-bmw/electromobility/bmw-movilidad-electrica.html> (accedido jul. 26, 2021).
- [61] Diariomotor, «BMW i3 2021», *diariomotor*, 2021. <https://www.diariomotor.com/coche/bmw-i3/> (accedido jul. 26, 2021).
- [62] Bmw, «Datos técnicos del carro eléctrico i3», *bmw*, 2021. <https://www.bmw.com.mx/es/modelos/bmw-i/i3/2020/bmw-i3-datos-tecnicos.html> (accedido jul. 26, 2021).
- [63] A. Callejo, «Renault pone en marcha un ambicioso proyecto para desarrollar la carga V2G a nivel europeo», *forococheselectricos*, 2019. <https://forococheselectricos.com/2019/03/renault-pone-en-marcha-un-ambicioso-proyecto-para-desarrollar-la-carga-v2g-a-nivel-europeo.html> (accedido jul. 27, 2021).
- [64] D. Torres, «Renault ZOE», *hidrosyelectricos*, 2020. <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/mercado/renault-zoe-informacion-autonomia-precio-equipamiento-fotos/20200506142435034919.html> (accedido jul. 27, 2021).
- [65] Renault, «Zoe E-Tech eléctrico», *renault*, 2021. <https://www.renault.es/electricos/zoe.html> (accedido jul. 27, 2021).
- [66] V. Fuentes, «Más que coches eléctricos\_ Daimler asegura que sus baterías pueden poner en marcha centrales eléctricas», *motorpasion*, 2019. <https://www.motorpasion.com/mercedes/no-solo-para-coches-electricos-daimler-asegura-que-sus-baterias-pueden-poner-marcha-centrales-electricas> (accedido jul. 27, 2021).
- [67] diariomotor, «Mercedes EQC», *diariomotor*, 2021. <https://www.diariomotor.com/coche/mercedes-eqc/> (accedido jul. 27, 2021).
- [68] Mercedes-benz, «Mercedes EQC», *mercedes-benz*, 2021. <https://www.mercedes-benz.es/passengercars/mercedes-benz-cars/models/eqc/specifications/footnote.module.html> (accedido jul. 27, 2021).

# ANEXOS

## ANEXO A

Simbología diagramas de flujo.

**Tabla 0.1** Funciones de activación.

Símbolo	Nombre	Descripción
	Inicio/Fin	Representa la inicialización y finalización del diagrama de flujo.
	Preparación	Representa una acción que tiene como finalidad adquirir un conocimiento previo.
	Proceso Predefinido	Representa los subprocesos llevados a cabo.
	Proceso	Representa las acciones automáticas a llevar a cabo.
	Operación Manual	Representa una acción llevada manualmente que necesita del conocimiento específico del usuario.
	Decisión	Representa las comparaciones llevadas a cabo entre dos o más alternativas.
	Base de Datos	Representa el almacenamiento de un conjunto de datos a utilizar.
	Salida en pantalla	Representa la visualización en la pantalla de aspectos relacionados al programa.
	Ingreso Manual	Representa una selección manual en el programa que dependerá de los requerimientos del usuario.
	Conector	Representa la unión de diferentes acciones del diagrama de flujo.

## ANEXO B

### Curvas de demanda de energía eléctrica agosto 2019 a Julio 2020

Par el análisis de las curvas de demanda de energía eléctrica se procedió a graficar y comparar las curvas por mes, para tener conocimiento del comportamiento de las curvas en las distintas horas del día para cada mes, y con esto calcular la curva de demanda promedio del mes en estudio. A continuación, se visualizan las gráficas y resultados numéricos más relevantes de las curvas de demanda eléctrica estudiadas.

Agosto 2019

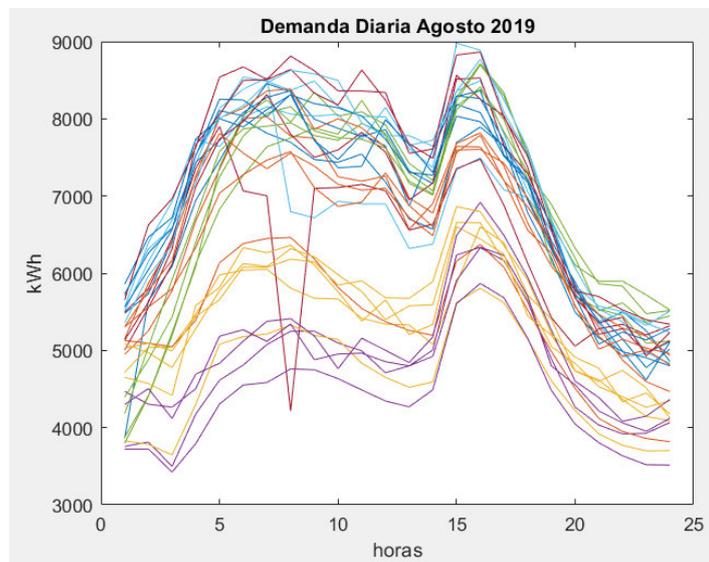


Figura 0.1. Curvas de demanda horaria agosto 2019.

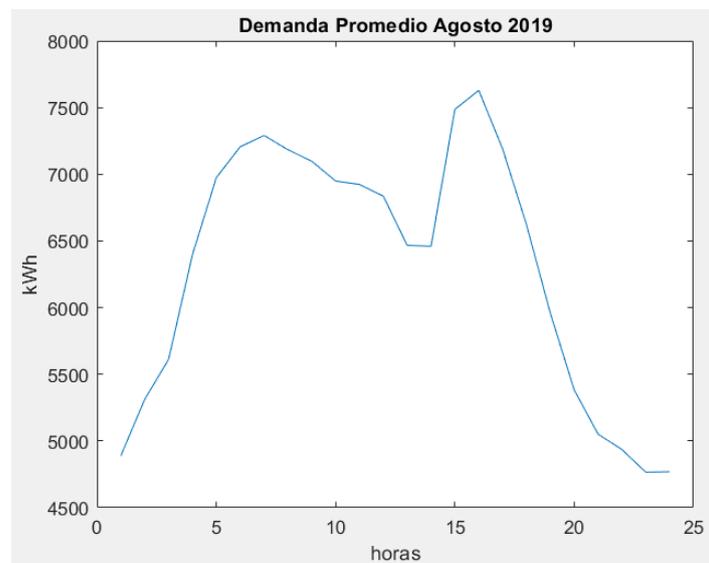
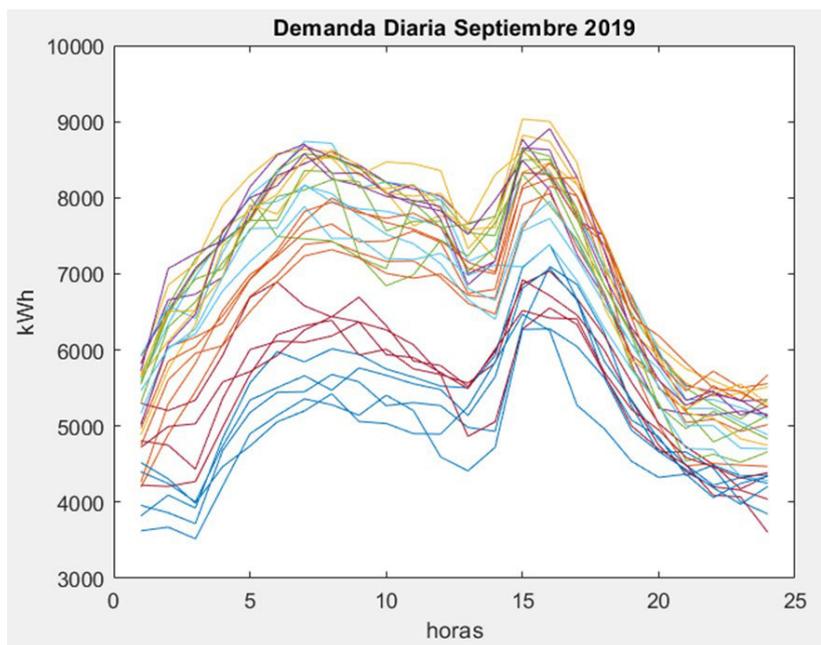


Figura 0.2. Curva de demanda horaria promedio agosto 2019.

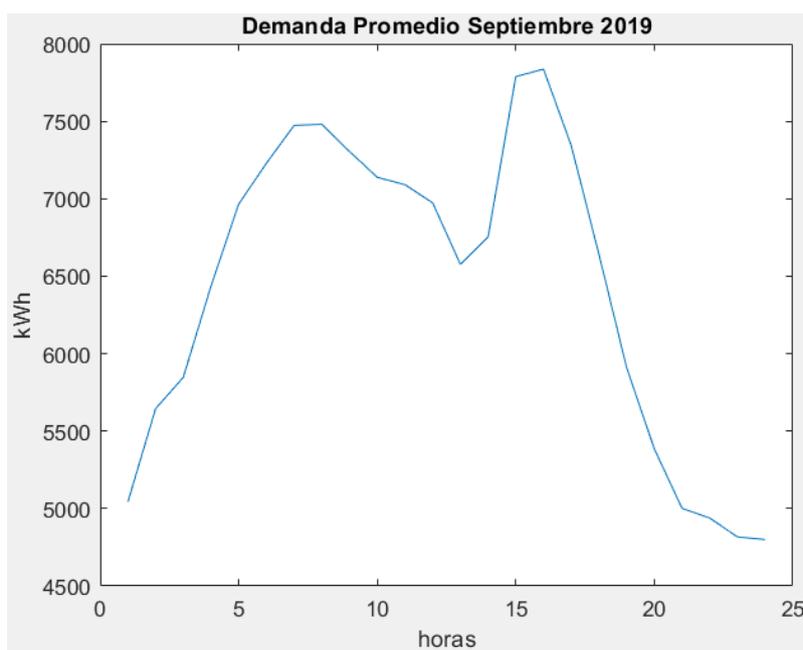
**Tabla 0.2** Resultados demanda horaria mes de agosto 2019.

	<b>Hora</b>	<b>Demanda (kWh)</b>
Demanda mínima	22	4765,804833
Demanda pico	15	7628,95244
Demanda promedio	-	6307,794488

Septiembre 2019



**Figura 0.3.** Curvas de demanda horaria septiembre 2019.

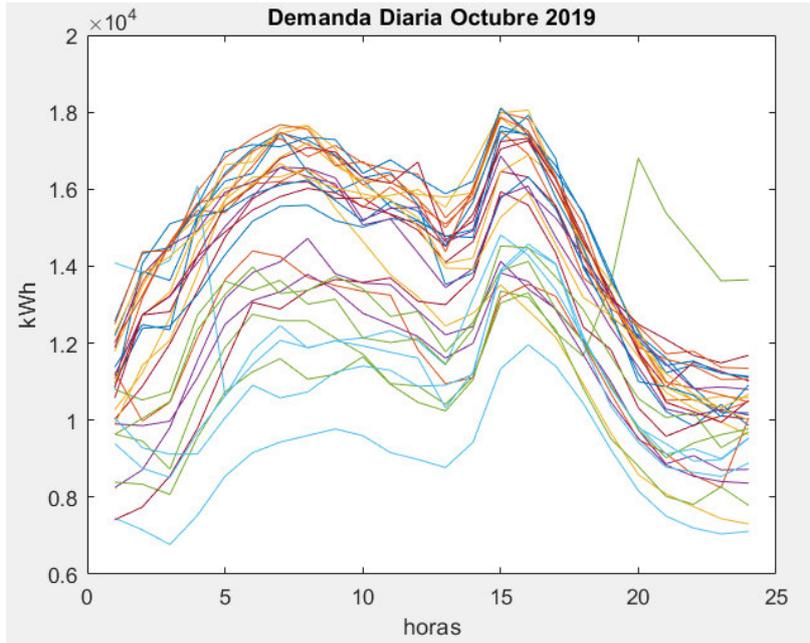


**Figura 0.4.** Curva de demanda horaria promedio septiembre 2019.

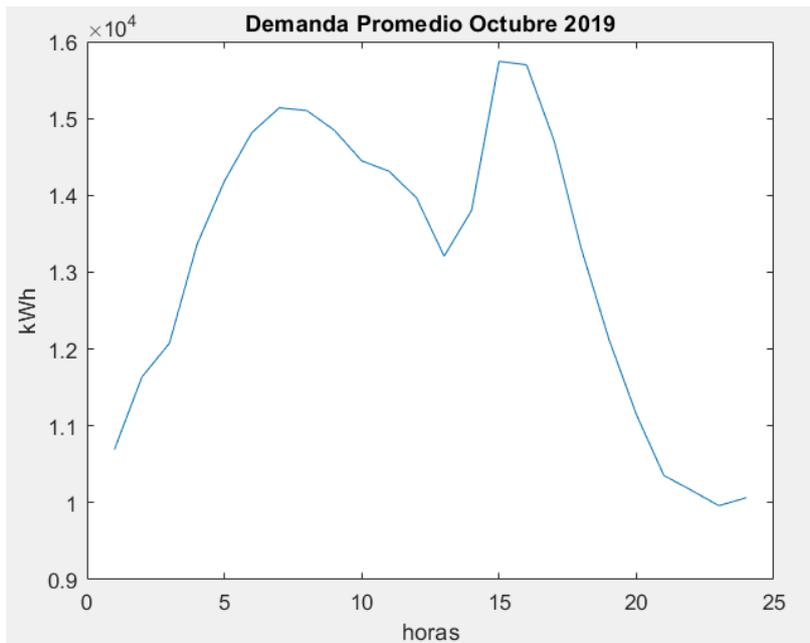
**Tabla 0.3** Resultados demanda horaria mes de septiembre 2019.

	<b>Hora</b>	<b>Demanda (kWh)</b>
Demanda mínima	23	4799,86911
Demanda pico	15	7836,620243
Demanda promedio	-	6434,146035

Octubre 2019



**Figura 0.5.** Curvas de demanda horaria octubre 2019.

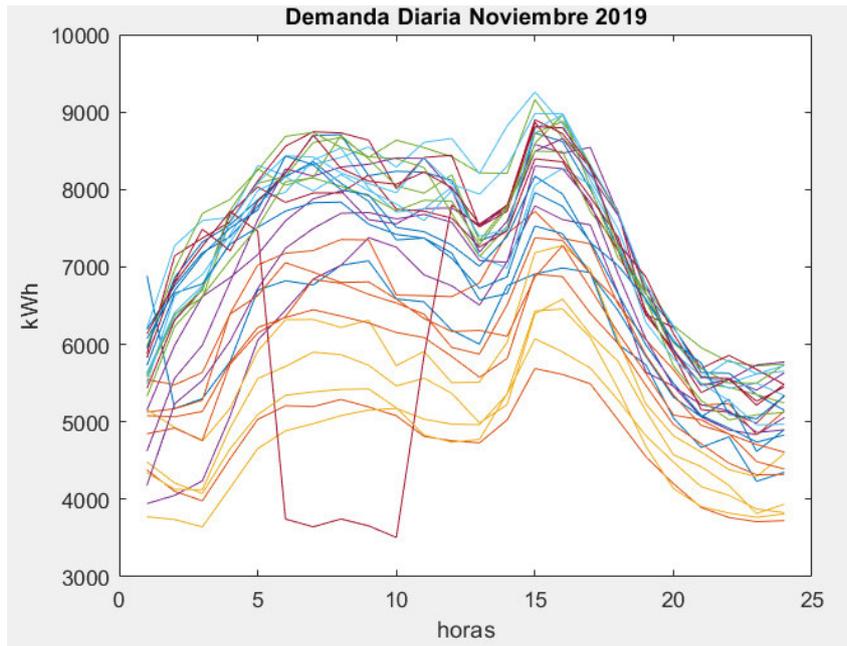


**Figura 0.6.** Curva de demanda horaria promedio octubre 2019.

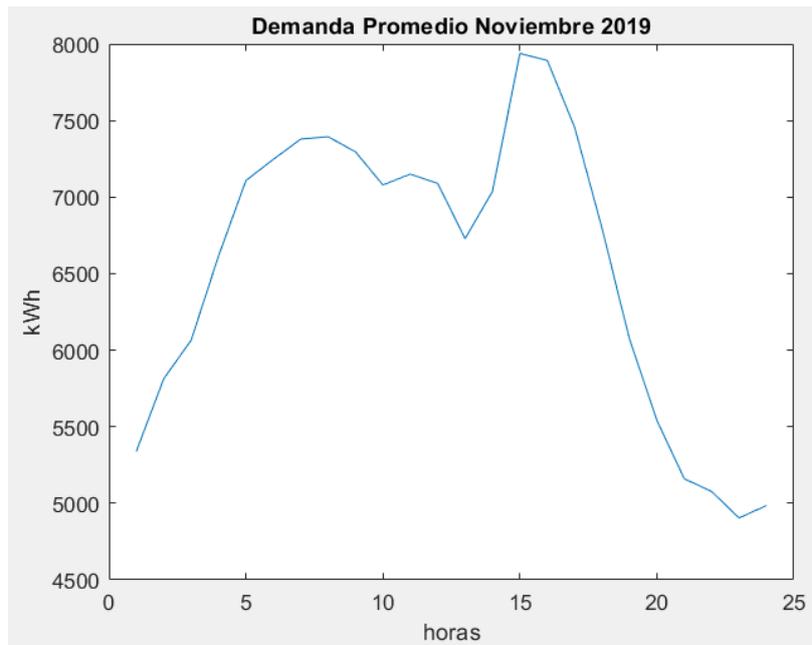
**Tabla 0.4** Resultados demanda horaria mes de octubre 2019.

	<b>Hora</b>	<b>Demanda (kWh)</b>
Demanda mínima	22	9960,745826
Demanda pico	14	15742,65942
Demanda promedio	-	13118,437042

Noviembre 2019



**Figura 0.7.** Curvas de demanda horaria noviembre 2019.

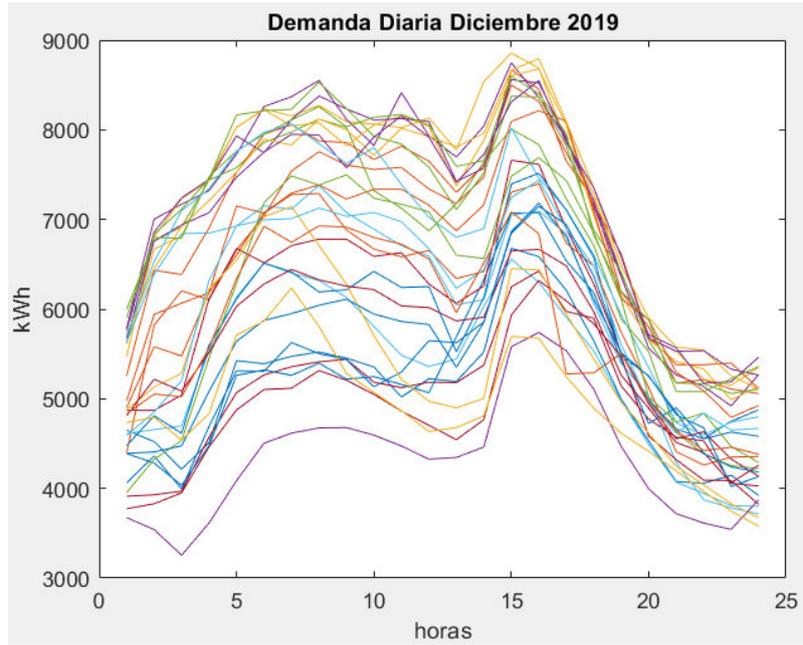


**Figura 0.8.** Curva de demanda horaria promedio noviembre 2019.

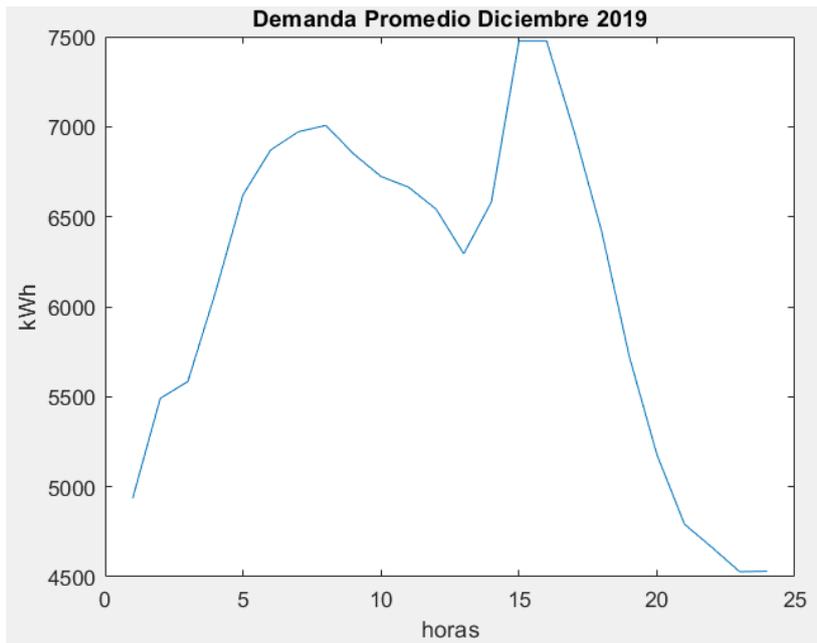
**Tabla 0.5** Resultados demanda horaria mes de noviembre 2019.

	<b>Hora</b>	<b>Demanda (kWh)</b>
Demanda mínima	22	4904,147666
Demanda pico	14	7938,185002
Demanda promedio	-	6548,437042

Diciembre 2019



**Figura 0.9.** Curvas de demanda horaria diciembre 2019.

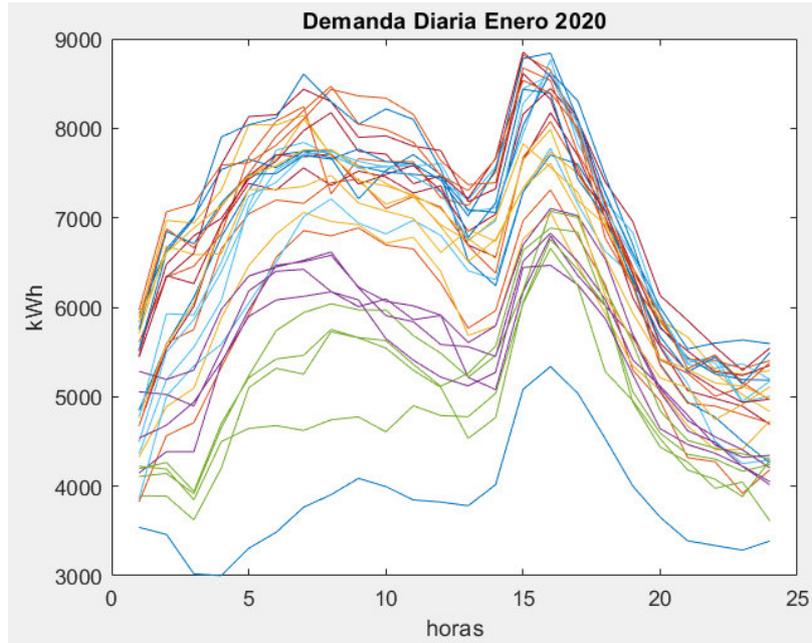


**Figura 0.10.** Curva de demanda horaria promedio diciembre 2019.

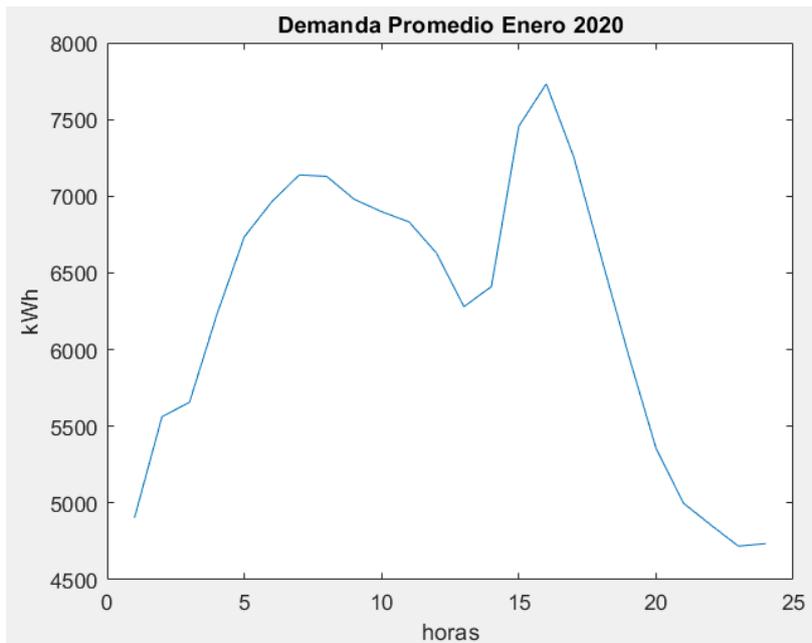
**Tabla 0.6** Resultados demanda horaria mes de diciembre 2019.

	<b>Hora</b>	<b>Demanda (kWh)</b>
Demanda mínima	22	4528,08992
Demanda pico	15	7477,096073
Demanda promedio	-	6124,096305

Enero 2020



**Figura 0.11.** Curvas de demanda horaria enero 2020.

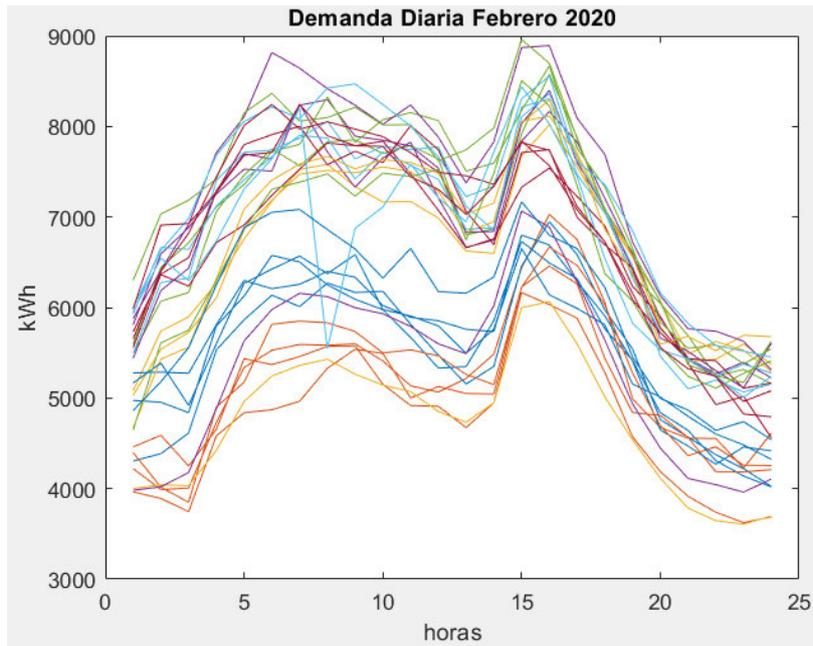


**Figura 0.12.** Curva de demanda horaria promedio enero 2020.

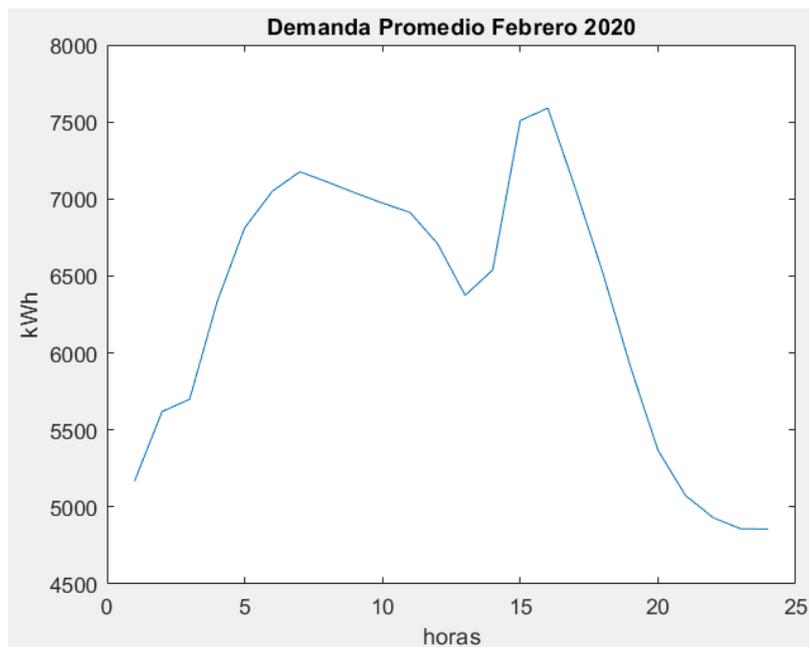
**Tabla 0.7** Resultados demanda horaria mes de enero 2020.

	<b>Hora</b>	<b>Demanda (kWh)</b>
Demanda mínima	22	4718,73196
Demanda pico	15	7732,084122
Demanda promedio	-	6251,167138

Febrero 2020



**Figura 0.13.** Curvas de demanda horaria febrero 2020.

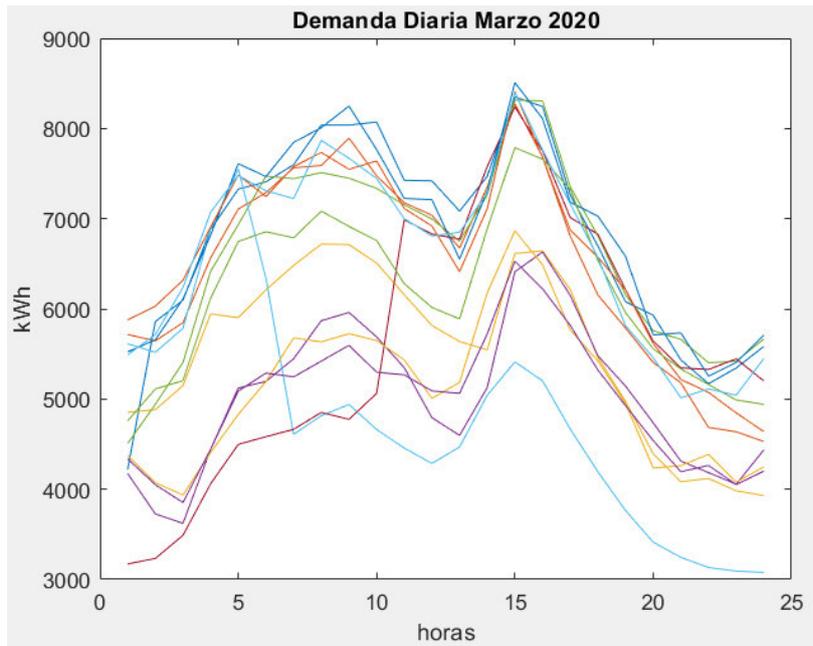


**Figura 0.14.** Curva de demanda horaria promedio febrero 2020.

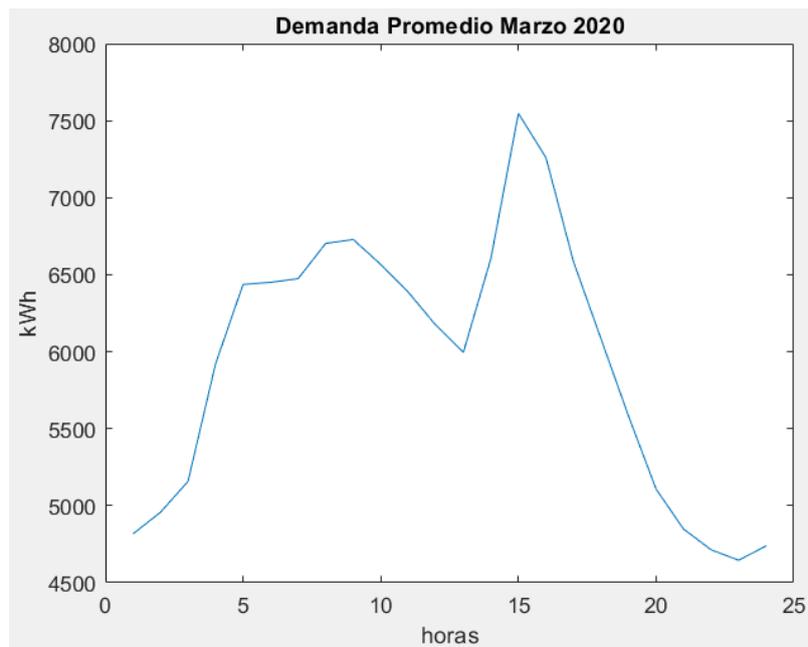
**Tabla 0.8** Resultados demanda horaria mes de febrero 2020.

	<b>Hora</b>	<b>Demanda (kWh)</b>
Demanda mínima	23	4856,56483
Demanda pico	15	7589,700806
Demanda promedio	-	6299,975548

Marzo 2020



**Figura 0.15.** Curvas de demanda horaria marzo 2020.

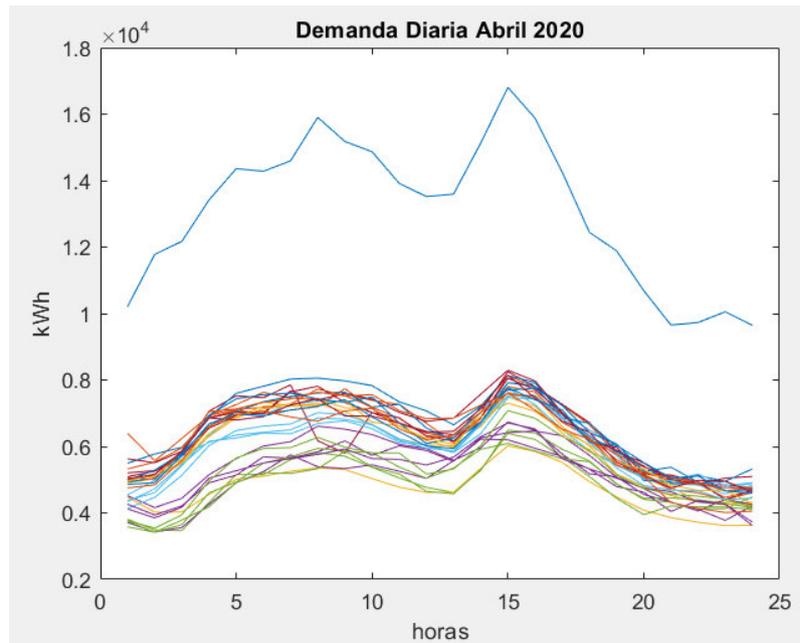


**Figura 0.16.** Curva de demanda horaria promedio marzo 2020.

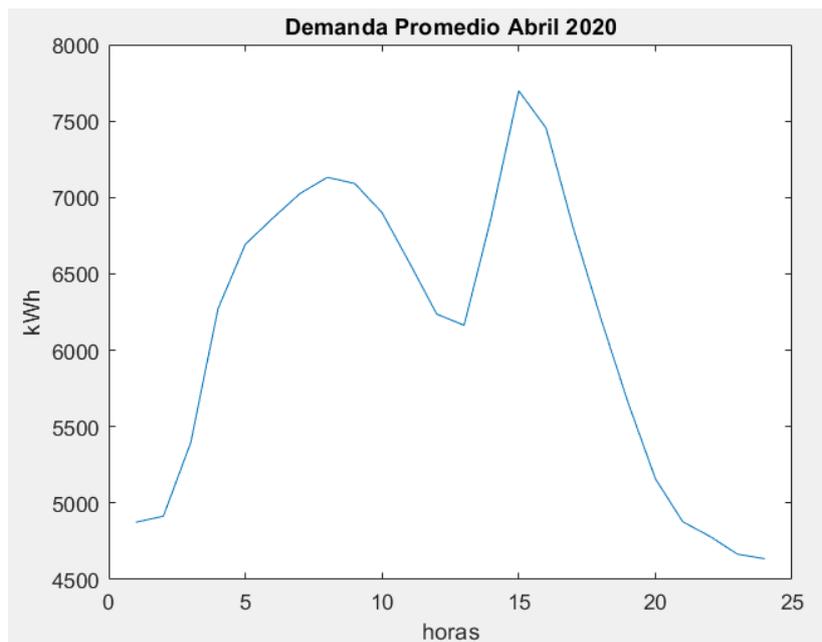
**Tabla 0.9** Resultados demanda horaria mes de marzo 2020.

	<b>Hora</b>	<b>Demanda (kWh)</b>
Demanda mínima	22	4645,74899
Demanda pico	14	7547,155236
Demanda promedio	-	5936,64778

Abril 2020



**Figura 0.17.** Curvas de demanda horaria abril 2020.

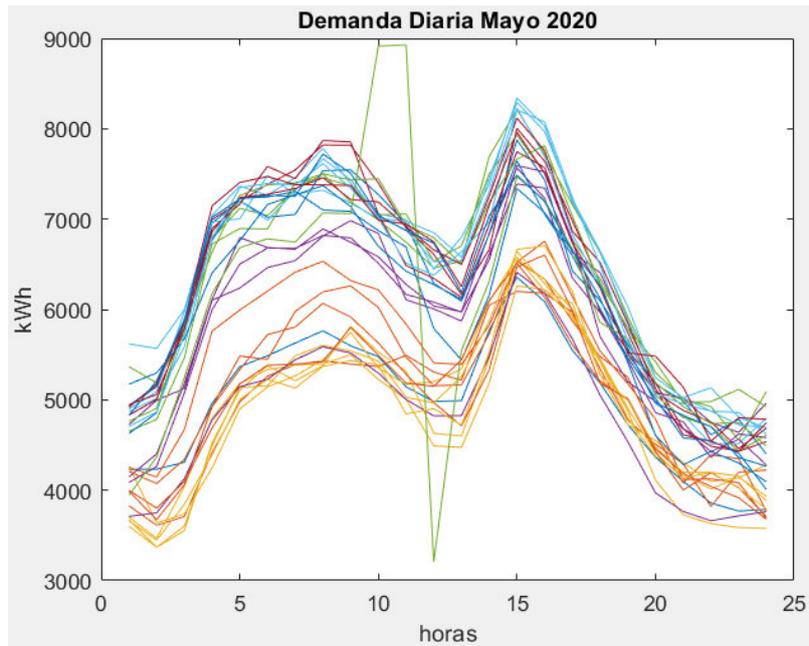


**Figura 0.18.** Curva de demanda horaria promedio abril 2020.

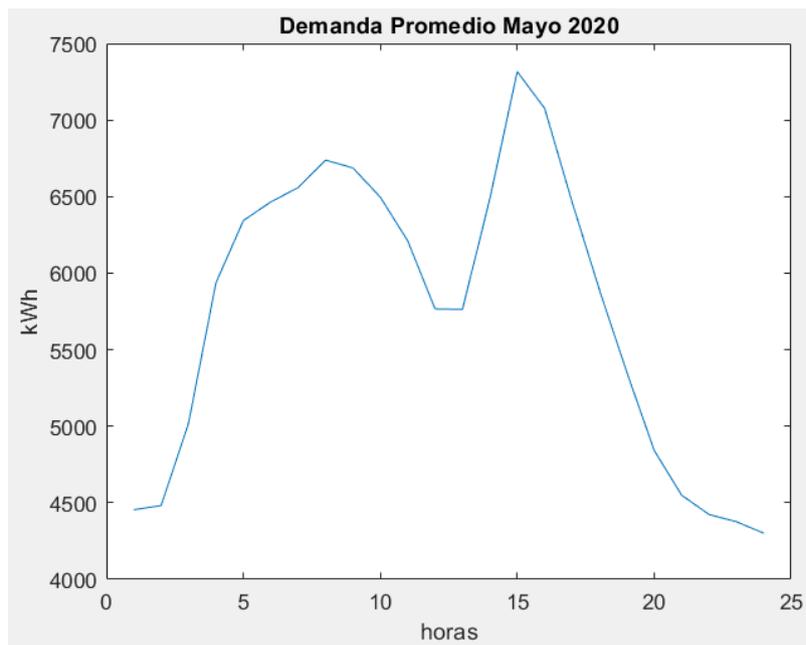
**Tabla 0.10** Resultados demanda horaria mes de abril 2020.

	<b>Hora</b>	<b>Demanda (kWh)</b>
Demanda mínima	23	4635,412093
Demanda pico	14	7698,009827
Demanda promedio	-	6122,855258

Mayo 2020



**Figura 0.19.** Curvas de demanda horaria mayo 2020.

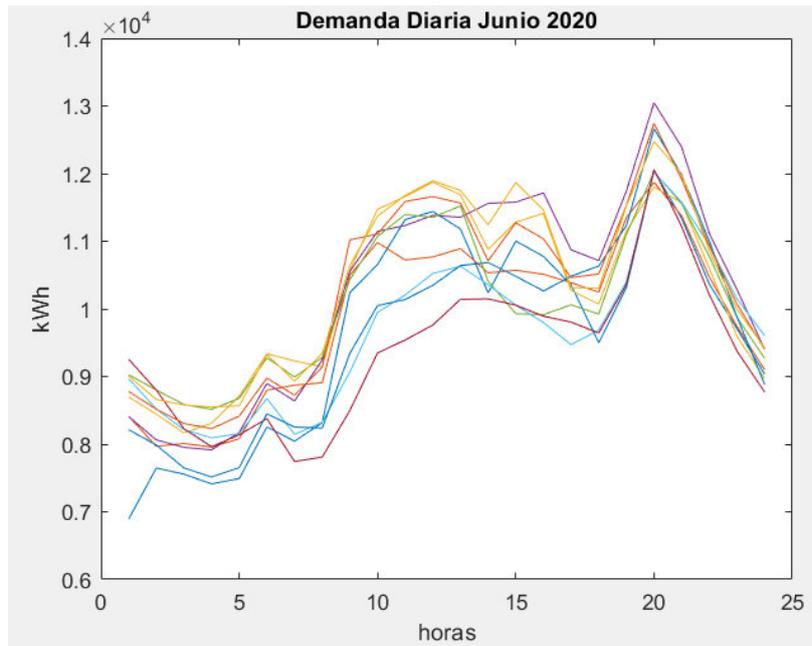


**Figura 0.20.** Curva de demanda horaria promedio mayo 2020.

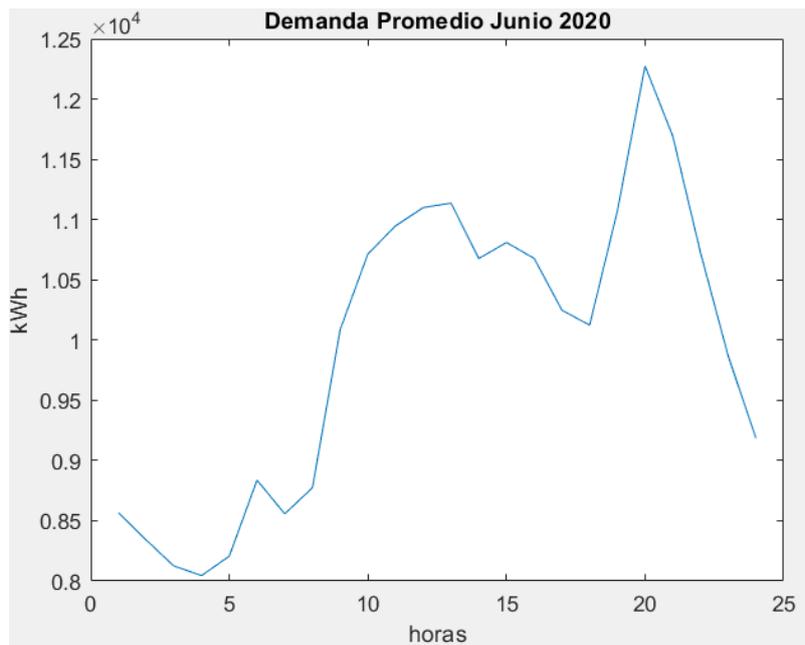
**Tabla 0.11** Resultados demanda horaria mes de mayo 2020.

	<b>Hora</b>	<b>Demanda (kWh)</b>
Demanda mínima	23	4301,3608
Demanda pico	14	7315,721857
Demanda promedio	-	5750,165762

Junio 2020



**Figura 0.21.** Curvas de demanda horaria junio 2020.

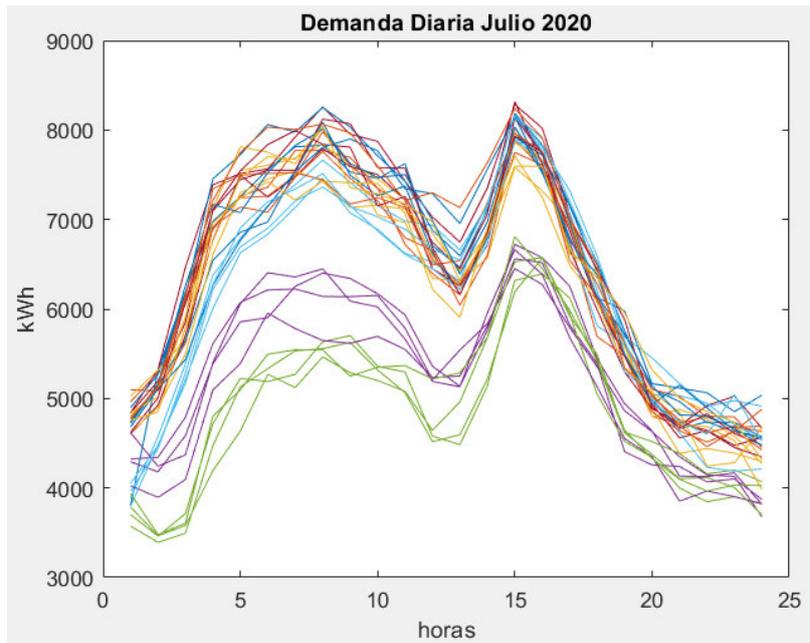


**Figura 0.22.** Curva de demanda horaria promedio junio 2020.

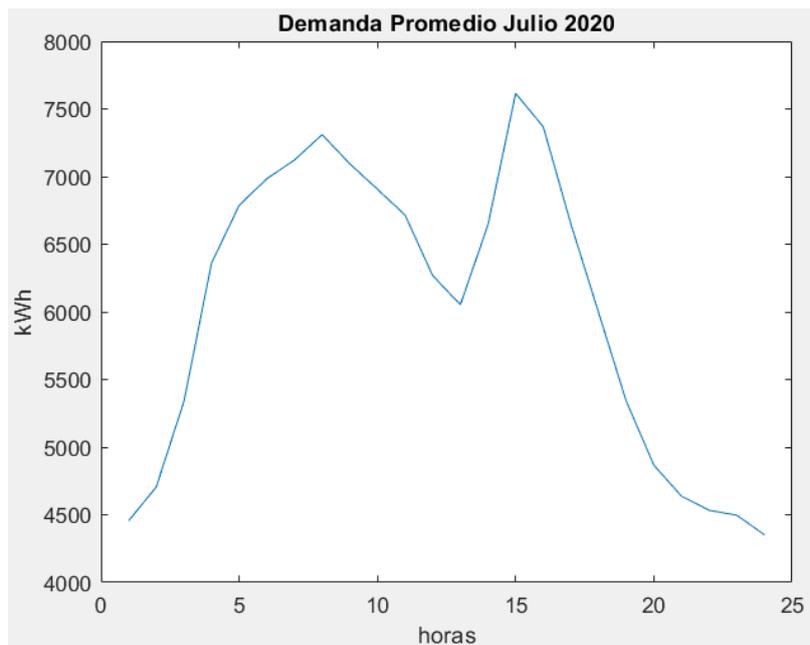
**Tabla 0.12** Resultados demanda horaria mes de junio 2020.

	<b>Hora</b>	<b>Demanda (kWh)</b>
Demanda mínima	3	8045,526013
Demanda pico	19	12274,28121
Demanda promedio	-	9949,414528

Julio 2020



**Figura 0.23.** Curvas de demanda horaria julio 2020.



**Figura 0.24.** Curva de demanda horaria promedio julio 2020.

**Tabla 0.13** Resultados demanda horaria mes de julio 2020.

	<b>Hora</b>	<b>Demanda (kWh)</b>
Demanda mínima	23	4351,588407
Demanda pico	14	7614,539303
Demanda promedio	-	6024.639781

## ANEXO C

**Modelo encuesta hábitos de usuarios en el uso de vehículos eléctricos.**

### **ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA INTEGRACIÓN DE FLOTAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS A NIVEL RESIDENCIAL EN SISTEMAS MODERNOS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

El presente formulario tiene como finalidad conocer los hábitos de movilidad de los ciudadanos, además de conocer la probabilidad de cambiar sus vehículos actuales por vehículos eléctricos con tecnología V2G.

La tecnología V2G (del vehículo a la red) permite intercambiar energía con la red eléctrica mientras está estacionado, es decir, el usuario final podrá comprar energía eléctrica para recargar las baterías por completo, o podrá vender energía eléctrica a las empresas eléctricas de distribución o a su vez para consumo propio de sus hogares.

1. ¿Dispone de vehículo en su hogar?

- Si  
 No

2. ¿Ha escuchado de vehículos eléctricos con tecnología V2G?

- Si  
 No

3. ¿Estaría dispuesto de migrar o comprar un vehículo eléctrico con tecnología V2G?

- Si  
 No

4. ¿En qué horarios del día usted utiliza su vehículo?

En caso de contar con vehículo actualmente

- 0 am a 2 am  
 2 am a 4 am

- 4 am a 6 am
- 6 am a 8 am
- 8 am a 10 am
- 10 am a 12 am
- 12 pm a 2 pm
- 2 pm a 4 pm
- 4 pm a 6 pm
- 6 pm a 8 pm
- 8 pm a 10 pm
- 10 pm a 0 am

5. Indique el kilometraje aproximado de movilidad que presenta usted en su vehículo por día

En caso de contar con vehículo actualmente

- 0 a 10 km
- 10 a 20 km
- 20 a 30 km
- 30 a 40 km
- 40 o más km

6. ¿Estaría dispuesto de recargar las baterías de los vehículos eléctricos en las horas que menor demanda tiene la ciudad con un descuento a su favor?

En horas de 4 a 15 horas y 18 a 21 horas el precio de la energía es de 10,07 ctv., en horas de 15 a 18 horas el precio de la energía es de 12,07 ctv. y en horas de 0 a 4 horas y 21 a 23 horas el precio de la energía es de 9,07 ctv. Idealmente las horas para la recarga de los vehículos es en horas de la noche madrugada de 21 horas a 24 horas y 0 a 4 horas.

- Si
- No

7. ¿Estaría dispuesto de vender energía eléctrica que genera su vehículo eléctrico a la Empresa Eléctrica Quito?

En horas de 0 a 4 horas y 21 a 23 horas el precio de la energía vendida es de 1 ctv., en horas de 4 a 15 horas y 18 a 21 horas el precio de la energía vendida es de 3 ctv., en horas de 15 a 18 horas el precio de la energía vendida es de 6,13 ctv. Para el usuario final es más rentable vender la energía entre las 15 y 18 horas.

Si

No

## **ORDEN DE EMPASTADO**