



# LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y SU IMPACTO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN: CASO DE ESTUDIO “ALIMENTADOR URBANO DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO”

## ELECTRIC VEHICLES AND THEIR IMPACT ON THE ELECTRIC DISTRIBUTION SYSTEM: A CASE STUDY OF THE URBAN FEEDER IN PORTOVIEJO

Arturo Zavala-Tubay<sup>1,\*</sup> , Hugo Pico-Mera<sup>1</sup> , Gabriel Pico-Mera<sup>2</sup> 

Recibido: 16-06-2023, Recibido tras revisión: 05-04-2024, Aceptado: 30-04-2024, Publicado: 01-07-2024

### Resumen

En la ciudad de Portoviejo, actualmente el uso de vehículos eléctricos (VE) es limitado en comparación con el empleo de los convencionales. Sin embargo, debido a la implementación de leyes, reglamentos y regulaciones que impulsan la movilidad eléctrica en el Ecuador, se espera que en los próximos años se produzca un ingreso considerable de esta carga (VE) en el sistema eléctrico de la ciudad. En este sentido, para determinar probables afectaciones a producirse en el sistema eléctrico en el futuro, se realiza la simulación en el software CYMDIST de un alimentador de distribución eléctrico de la Empresa Pública Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP Unidad de Negocio Manabí (Portoviejo), considerando tres escenarios de análisis proyectados al año 2030 como son: 1. Caso base sin ingreso de VE, 2. Ingreso no controlado de VE y 3. Ingreso controlado de VE. El presente trabajo simula el ingreso de hasta 230 vehículos en la red, puesto que, el objetivo del estudio es tomar datos referenciales para conocer la posible afectación en el alimentador cuando los VE se conecten de forma masiva y se carguen prolongadamente. Al final del estudio se comprobará la importancia de la gestión de la demanda cuando se produzca el ingreso de vehículos eléctricos, el cual refleja resultados importantes en la curva de demanda, perfil de voltaje y tasa de distorsión armónica THD % de un alimentador de distribución a 13,8 kV.

**Palabras clave:** VE, vehículo eléctrico, armónicos, pérdidas técnicas, planificación eléctrica, CYMDIST, distribución, CNEL

### Abstract

In Portoviejo, the current use of electric vehicles (EVs) is limited compared to conventional vehicles. However, due to the implementation of laws, regulations, and policies promoting electric mobility in Ecuador, a significant increase in the integration of EVs into the city's electrical system is anticipated in the coming years. To anticipate the impact on the electrical infrastructure, a simulation is conducted using CYMDIST software on an electrical distribution feeder operated by the Public Company Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP), Manabí Business Unit (Portoviejo). The simulation considers three scenarios projected for 2030: 1. Baseline scenario without EV integration, 2. Unrestrained EV integration, and 3. Managed EV integration. This research aims to simulate the integration of up to 230 EVs into the network to provide benchmark data for understanding the potential impacts on the feeder as EV adoption increases, with vehicles being charged over extended periods. The investigation will highlight the importance of demand management with EV integration, demonstrating significant effects on the demand curve, voltage profile, and total harmonic distortion rate (THD%) of a 13.8 kV distribution feeder.

**Keywords:** EV, Electric Vehicle, Harmonics, Technical Losses, Electrical Planning, CYMDIST, Distribution, CNEL

<sup>1,\*</sup>Departamento de Planificación, Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP UN MAN), Ecuador.

Autor para correspondencia ✉: [arturo.zavala@cnel.gob.ec](mailto:arturo.zavala@cnel.gob.ec).

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

Forma sugerida de citación: Zavala-Tubay, A.; Pico-Mera, H.; Pico-Mera, G. “Los vehículos eléctricos y su impacto en el sistema eléctrico de distribución: Caso de estudio ‘Alimentador urbano de la ciudad de Portoviejo’,” *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*, N.º 32, pp. 27-35, 2024. DOI: <https://doi.org/10.17163/ings.n32.2024.03>.

## 1. Introducción

El compromiso mundial de reducir significativamente las emisiones de carbono a corto plazo, ha propiciado el desarrollo de tecnologías sustentables en términos ambientales, como son los vehículos eléctricos [1]. Por ello, en los últimos años, el uso de esta tecnología se ha desplegado en el mundo como respuesta a la necesidad imperiosa de disminuir las emisiones de gases contaminantes al ambiente [2].

Considerando que, el uso de vehículos eléctricos aporta a la conservación del medioambiente, se ha vuelto necesario analizar el impacto que podría causar la inclusión de la carga de esta nueva tecnología en las redes eléctricas de distribución, puesto que, según [3,4], al tratarse de cargas que se modelan y comportan como no lineales, podrían presentar un impacto negativo considerable en la calidad de la energía (voltaje, niveles de desequilibrio y armónicos), alterando dichos parámetros eléctricos en diferentes condiciones de carga.

Por otro lado, también se prevé, que, con el aumento de cargas de manera descontrolada, producto del ingreso de VE, se afecte directamente la infraestructura eléctrica de la empresa distribuidora por el potencial incremento de demanda [5].

A propósito de los VE, estos se caracterizan por el uso de un motor de tracción eléctrica para la propulsión del vehículo [6], de modo que, la energía para dar movimiento a dicho motor, proviene de baterías que comúnmente se cargan por medio de una fuente de alimentación externa [7].

Por lo regular, los VE utilizan baterías de ion-litio principalmente por las ventajas que presentan en comparación con otra tecnología, como son mayor eficiencia, bajo costo de mantenimiento, peso ligero, entre otros, que lo hace atractivo para usar en vehículos eléctricos [8].

Si bien, las baterías son consideradas la principal fuente de energía de los VE, este trabajo no se centrará en estudiarlas, sino más bien se enfocará en el impacto que provocarán dichos dispositivos desde las redes eléctricas.

Así pues, la introducción de vehículos eléctricos en el mercado generará variaciones significativas en la demanda de energía y potencia [9]. Esto incidirá de tal manera que, las redes eléctricas se enfrentarán a un desafío importante, en donde las empresas de distribución eléctrica, deberán darse modos de garantizar la continuidad del servicio a sus clientes, así como garantizar el crecimiento de la demanda de potencia y energía.

Algo similar a lo anterior también mencionan Anas-tasiadis et al. [10]; ellos manifiestan que, es necesario prever las soluciones adecuadas a los problemas que pueden aparecer en el sistema eléctrico, dado que, a medida que la popularidad de los vehículos de tracción eléctrica tiende a crecer, también existe como resultado

una mayor demanda en el sistema y por consiguiente un impacto significativo en la red.

El impacto en la red de distribución eléctrica, puede clasificarse en positivo y negativo, entre los efectos negativos, destaca la afectación del perfil de voltaje, saturación de los componentes del sistema eléctrico, desequilibrio de voltaje, inyección de armónicos y aumento de pérdidas técnicas de energía, ente otros; y, en cuanto a los efectos positivos, destacan las técnicas a utilizar para llevar a efecto una correcta administración de la energía, también conocidas como técnicas de gestión de demanda [11].

Para determinar el impacto producido por el ingreso de VE, se debe realizar un análisis de las variables que intervienen en el sistema, sean estas, demanda de la red, cargabilidad del sistema eléctrico, perfiles de carga de los diferentes tipos de clientes y características de los vehículos eléctricos [12].

La afectación a la red está enlazada con la forma de carga que se aplique al vehículo eléctrico, sobre esto, [13] menciona que, el tipo de carga puede clasificarse de tres maneras: carga de nivel 1 o carga lenta, carga de nivel 2 o semirrápida y carga de nivel 3 o rápida (electrolinera). El tipo de carga va de la mano con la velocidad de carga de la batería, y generalmente, el tipo 2 y 3 se utiliza en entornos públicos y privados, a diferencia del tipo 1 que está identificado como carga doméstica o de garaje.

En la Tabla 1 se expone la clasificación de los tipos de recarga de las baterías según las características del VE [14].

**Tabla 1.** Niveles de carga de baterías de VE

Nivel de carga	Tipo de carga	Uso típico	Corriente máxima esperada	Tiempo de carga
Nivel I	Lenta	Casa	12 A	6 a 24 horas
Nivel II	Semirrápida	Sector privado o público	32 A	2-6 horas
Nivel III	Rápida	Electrolineras	250 A CA 400 A CC	0,5 horas

El periodo de carga rápida se puede ejecutar en un tiempo aproximado de 30 minutos para alcanzar el 80 % de la capacidad nominal de la batería [15].

Si bien, el impacto de los VE en la red, está relacionado directamente con el tipo de carga que se realice (lenta, semirrápida, rápida), el actual análisis considerará únicamente carga lenta, ya que, es el tipo de carga que se prevé se utilice en los hogares de los consumidores o clientes de las empresas de distribución eléctrica.

Teniendo en cuenta los problemas que generan las cargas no lineales de los vehículos eléctricos, se crea la necesidad de efectuar un estudio que permita estimar las afectaciones a producirse en la red. Por tanto,

el presente trabajo de investigación, analizará el impacto producido por la carga de vehículos eléctricos en la curva de demanda de un alimentador, así como, las afectaciones en el perfil de voltaje, armónicos y pérdidas técnicas que se presenten en la práctica.

El estudio a presentar en este documento, se efectuará mediante una simulación en el software CYMDIST, partiendo de un alimentador real del sistema eléctrico de distribución de la empresa distribuidora Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP Unidad de Negocio Manabí proyectado al año 2030, así pues, se hará uso de los módulos adscritos al programa, entre los que se puede citar la distribución de carga, el flujo de carga, armónicos y la dinámica a largo plazo.

Para efectos de simulación de la red, se utilizarán datos de lecturas tomadas del sistema eléctrico a analizar, para lo cual, se ha considerado un alimentador urbano del cantón Portoviejo de la provincia de Manabí. El diseño de la carga del vehículo eléctrico para su simulación en el software CYMDIST, se modelará como fuente de corriente multifrecuencial desequilibrada y los datos a considerar para su modelación, serán de lecturas realizadas durante la carga de las baterías de vehículos eléctricos con tipo de carga I (lenta), con intervalos de medición de 10 minutos.

El estudio actual considera los escenarios simulados contemplando el ingreso de 160 y 230 vehículos en la red eléctrica, las cuales son referenciales y ajustables según las estimaciones de ingreso de VE proyectadas en la revista Panorama Eléctrico [16].

Teniendo en cuenta que, los VE traen consigo problemas de calidad de energía en la red de distribución, particularmente desequilibrio de voltaje, afectación al perfil de voltaje, saturación de la infraestructura eléctrica y frecuencia fuera de la nominal [17], este artículo también considera presentar resultados reales de datos medidos en el proceso de carga de un vehículo eléctrico en bajo voltaje.

En el caso de Ecuador, el ente encargado de regular y controlar los sectores estratégicos de electricidad, hidrocarburos y minas, es la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR). Esta entidad emite los lineamientos a cumplir por la Empresa de Distribución de Energía Eléctrica a través de las regulaciones correspondientes; es así, que, mediante resolución N.º ARCERNNR 017/2020 aprueba la regulación N.º ARCERNNR 002/20, denominada “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica” [18], que en su capítulo 2 trata sobre la calidad del producto.

En la regulación citada, se presentan los rangos admisibles para las variables eléctricas que generalmente son afectadas por el ingreso en las redes de los vehículos eléctricos, tal como se describe a continuación.

## 1.1. Calidad del producto

### 1.1.1. Nivel de voltaje

En la Tabla 2 se exponen los rangos de voltaje exigidos por el ente regulador ARCERNNR a las empresas de distribución del Ecuador según regulación [18].

**Tabla 2.** Rangos admisibles de niveles de voltaje

Nivel de voltaje	Rango admisible
Alto voltaje (Grupo 1 y Grupo 2)	$\pm 5,0 \%$
Medio voltaje	$\pm 6,0 \%$
Bajo voltaje	$\pm 8,0 \%$

Para esta investigación se tomará en consideración los valores correspondientes a medio voltaje y se analizará el cumplimiento de la normativa según lo descrito en la Tabla 2.

### 1.1.2. Distorsión armónica de voltaje

El factor de distorsión armónica individual de voltaje (%) y el factor de distorsión armónica total de voltaje (THD %), consideran los rangos descritos en la regulación ARCERNNR 002-20, tal cual lo mostrado en la Tabla 3.

Para el estudio, se tomarán de referencia los valores correspondientes a medio y bajo voltaje.

**Tabla 3.** Límites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal)

Nivel de voltaje	Factor de distorsión armónica individual (%)	THD (%)
Bajo voltaje	5	8
Medio voltaje	3	5
Alto voltaje (Grupo 1)	1,5	2,5
Alto voltaje (Grupo 2)	1	1,5

## 2. Materiales y métodos

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad generar una línea base que sirva para los estudios de demanda que en el futuro realice la Empresa Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP Unidad de Negocio Manabí, en lo que a electromovilidad se refiere. Con ello, la distribuidora contará con un insumo adicional para planificar el

sistema eléctrico a largo plazo, considerando las posibles afectaciones a presentarse con el ingreso de los vehículos eléctricos en diferentes escenarios de carga.

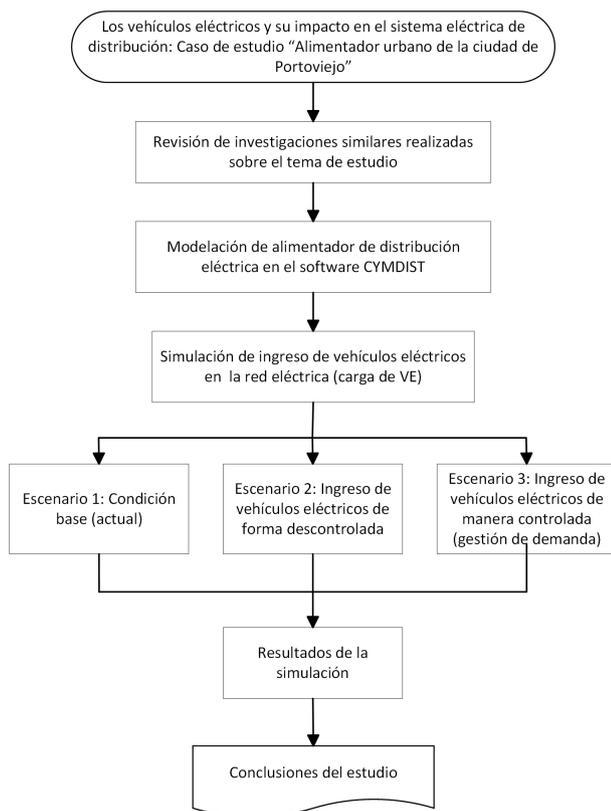
Para cumplir con el objetivo de analizar el impacto en la red eléctrica, se ha tomado como referencia un caso de estudio donde se incorpora de manera aleatoria una cantidad determinada de VE en el sistema, simulando su ingreso por medio del software CYMDIST, el mismo que es una herramienta informática de ingeniería avanzada, diseñada para realizar estudios de planificación eléctrica, operación y optimización [19].

Los materiales que se utilizaron para la simulación son los siguientes:

- Red eléctrica georreferenciada, considerando cargas por tipo de usuario.
- Medición o lectura principal del alimentador existente a 13,8 kV.
- Medición o lectura realizada a un vehículo eléctrico por CNEL EP.

## 2.1. Metodología

La metodología utilizada es concordante al diagrama mostrado en la Figura 1.



**Figura 1.** Diagrama de flujo de la metodología aplicada en el estudio

### 2.1.1. Determinación de escenarios

Para conocer el impacto en la red eléctrica por el ingreso de la carga de vehículos eléctricos, se han definido tres escenarios de simulación proyectados al año 2030.

Los escenarios consistirán en comparar el impacto de los vehículos eléctricos, en lo que corresponde a demanda, caída de voltaje, armónicos y pérdidas técnicas.

#### A) Escenario 1: Escenario base, alimentador proyectado al año 2030.

Se analiza la situación de operación del alimentador en el que se efectuará el estudio. Para la proyección al 2030 se considera un crecimiento vegetativo del alimentador de 3,5 % por año.

En este escenario no se incluye la carga de VE.

#### B) Escenario 2: Ingreso de la carga de VE sin restricciones (año 2030).

En este punto se analiza el escenario proyectado, simulando que los VE serán sometidos a un proceso de carga cuando su propietario regresa a casa después de la jornada laboral. En consecuencia, los vehículos comenzarán a cargarse aproximadamente después de las 18:00.

#### C) Escenario 3: Ingreso de carga de VE de forma controlada (año 2030).

Con el fin de evitar que el pico de carga de los VE eléctricos coincida con el periodo de demanda máxima del sistema, este escenario analiza la carga de VE al año 2030 a partir desde las 22:00, de igual manera, también considera poner en funcionamiento estrategias para que los vehículos se carguen en diferentes horarios que no coincidan con la demanda máxima del sistema.

El tema de gestión de la demanda también tiene que ver con las políticas públicas que se ejecuten para gestionar la carga de los VE. Se pueden citar, por ejemplo, una infraestructura de carga en estacionamientos públicos o privados en los lugares de trabajo, así, de esta manera, los vehículos se cargan a lo largo del día, evitando su coincidencia con periodo picos de demanda [20].

Con esta estrategia, se pretende representar una carga controlada para clientes residenciales y comerciales, en la que los vehículos eléctricos se conecten a la red de distribución progresivamente al terminar la jornada laboral, y que la recarga sea más prolongada durante la noche y parte de la mañana.

### 2.1.2. Información del alimentador a estudiar.

El alimentador elegido para el estudio, pertenece al sistema eléctrico de distribución de la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí.

Conforme a la proyección realizada al año 2030, el alimentador presenta los datos mostrados en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Características del alimentador

Subestación	Clientes	Voltaje (kV)	Conductor troncal	Recorrido de troncal (km)	Potencia activa (MW)	Potencia reactiva (MVAR)
Portoviejo 2	2612	13.8	ACSR 3/0	2.1	4.77	1.1

Conforme a lo descrito en la Tabla 4, se resume que la red está compuesta de 2,10 km de conductor ACSR 3/0 en el recorrido de la troncal, su voltaje base es 13,8 kV, la carga de potencia activa proyectada es de 4,77 MW, la carga de potencia reactiva es de 1,10 MVAR y los clientes totales ascienden a 2612, de los cuales 954 corresponden a residenciales.

## 3. Resultados y discusión

En este apartado se muestran los resultados de los escenarios planteados en el literal 2.1.1, los cuales fueron simulados utilizando el software CYMDIST.

- Escenario 1: Escenario base, alimentador proyectado al año 2030
- Escenario 2: Ingreso de carga de VE sin restricciones (año 2030)
- Escenario 3: Ingreso de carga de VE de forma controlada (año 2030)

### 3.1. Demanda

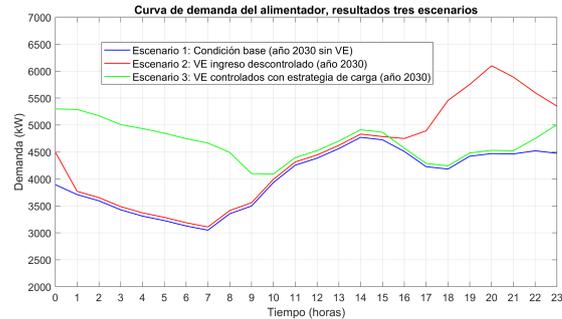
En la Figura 2 se presentan los resultados de los tres escenarios analizados al año 2030, en donde, se compara la incidencia de los vehículos eléctricos en la demanda del sistema eléctrico simulado.

Según la Figura 2, se observa que, en el escenario 2 (carga de VE no controlada) se produce un pico máximo de demanda aproximado de 6,1 MW, no siendo así en el escenario 3 (ingreso controlado de VE con gestión de demanda) donde el pico máximo llega a aproximadamente a 4,5 MW en el mismo periodo de demanda.

Este resultado refleja la incidencia positiva de la aplicación de mecanismos de gestión de demanda en el alimentador, al producirse una disminución de los picos en horarios de demanda máxima, aumentando con ello la eficiencia de la red y la capacidad de transporte disponible en el alimentador.

Este resultado tiene concordancia con lo indicado por autor [3], el cual establece que, con una estrategia

de carga no controlada, se presenta el peor caso para el control de la demanda y los desequilibrios en la red de distribución.

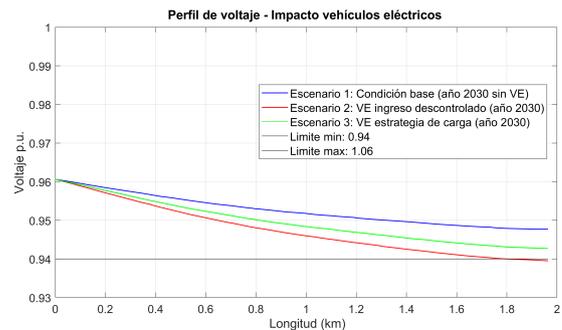


**Figura 2.** Curva de demanda, resultados obtenidos en los tres escenarios analizados (consolidado)

### 3.2. Caída de voltaje

#### 3.2.1. Perfil de voltaje

En la Figura 3 se exponen los resultados obtenidos en el perfil de voltaje del alimentador simulado al año 2030, considerando su comportamiento en los tres escenarios planteados.



**Figura 3.** Perfil de voltaje, resultados obtenidos en los tres escenarios analizados (consolidado)

Los resultados detallados (Figura 3) demuestran el efecto positivo que representa para el sistema la aplicación de técnicas de gestión de demanda en el proceso de carga de vehículos eléctricos. El nivel de voltaje a lo largo del recorrido del alimentador simulado en el escenario 3 (carga de VE con estrategias de carga), es relativamente superior al perfil de voltaje que se presenta en la simulación del escenario 2 (carga de VE con ingreso descontrolado).

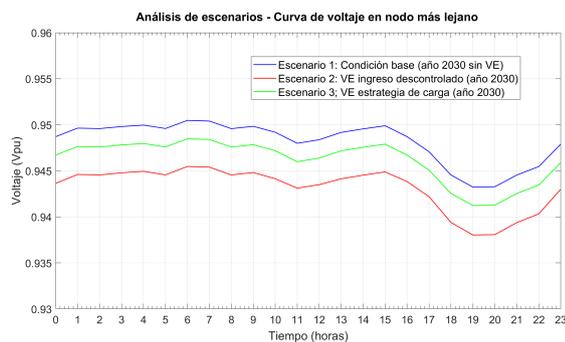
Hay que destacar, que, tal como se observa en la Figura 3, la aplicación de estrategias de carga ayuda significativamente a cumplir la regulación ARCERNR 002-20 en relación con el rango admisible de voltaje en el alimentador, establecido en  $\pm 6\%$ .

Este resultado tiene concordancia con lo indicado por Lascano et al. [21], quienes establecen que, al

momento de realizar la integración de cada VE, se presenta una disminución de voltaje progresiva hasta llegar a valores fuera de la normativa referida.

### 3.2.2. Voltaje en el nodo más lejano del alimentador

En la Figura 4 se visualiza el comportamiento del voltaje en el nodo más lejano del alimentador para cada uno de los tres escenarios planteados en el estudio. En este sentido, concordante a lo manifestado en el literal 3.2.1, en la figura referida se observa que el voltaje en el punto más lejano del alimentador, tendrá un nivel más alto siempre y cuando se aplique un sistema de gestión de demanda para la carga de VE en el alimentador.



**Figura 4.** Perfiles de voltaje en nodo más lejano, resultados en tres escenarios

De lo observado en la Figura 4 es evidente que, con el ingreso de VE el voltaje en el punto más lejano se va a ver afectado si no se implantan estrategias para mitigar la afectación. Este resultado guarda coincidencia a lo manifestado por los autores [21].

### 3.3. Tasa de distorsión armónica (THD %)

En la Tabla 5 se muestra el resultado proyectado al año 2030 del factor de distorsión armónica total de voltaje (THD %), por consecuencia del ingreso de 230 vehículos eléctricos en el alimentador simulado.

**Tabla 5.** Distorsión armónica total de voltaje en media tensión (THD %)

NODO	kV L-N	180,00 Hz IHD (%)	300,00 Hz IHD (%)	420,00 Hz IHD (%)	THD (%)
Salida principal de alimentador (fase A)	7.58	0.019	0.008	0.007	0.023
Salida principal de alimentador (fase B)	7.67	0.023	0.011	0.009	0.027
Salida principal de alimentador (fase C)	7.71	0.013	0.007	0.005	0.016

Según la Tabla 5, considerando ingreso de la carga de los VE simulados en el estudio, la distorsión armónica total de voltaje (THD %) no supera el límite

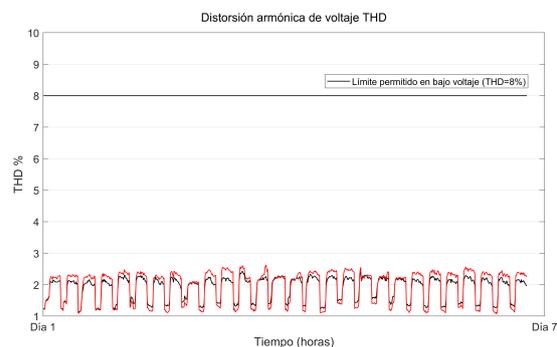
de 5 % establecido en la regulación ARCERNR 002-20 en medio voltaje.

Es importante manifestar, que, para efectos de simulación se ingresaron paulatinamente las cargas del VE en el software CYMDIST, donde, al haber conectado hasta 230 VE, no se visualizaron índices elevados en la tasa de distorsión armónica en medio voltaje, por tanto, se considera que el THD % en dicho nivel de voltaje no será afectado significativamente cuando se carguen VE de carga lenta (Tipo I) con el número de VE simulados.

Por el contrario, en baja tensión, según lecturas leídas mediante un analizador de calidad de energía utilizado durante el proceso de carga de un vehículo eléctrico, se observó que la distorsión armónica de voltaje total THD (%) en bajo voltaje, se encuentra dentro de los rangos establecidos en la regulación ARCERNR 002-20. Sin embargo, se ha visto que existe un aporte importante de la tercera y quinta armónica de corriente, lo que se traduce que la distorsión total de armónicos de corriente contiene valores a tener en consideración cuando se conecten varios VE en el mismo circuito.

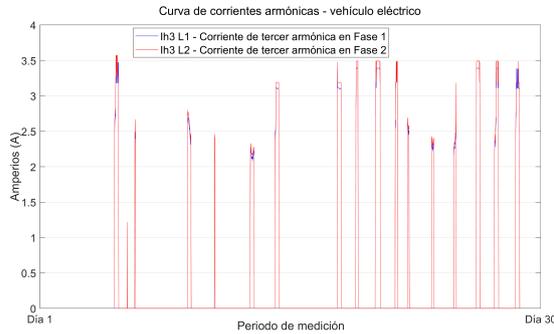
A continuación, en las figuras 5, 6, 7 se muestran la curva de distorsión armónica de voltaje total (THD %) en bajo voltaje y la curva de la tercera y quinta armónica respectivamente en el mismo nivel de voltaje (datos reales medidos en bajo voltaje).

De lo observado en la Figura 5, se puede manifestar que, la tasa de distorsión armónica presentada durante el proceso de carga de un vehículo eléctrico en bajo voltaje, se encuentra dentro de los rangos establecidos en la regulación de calidad vigente.



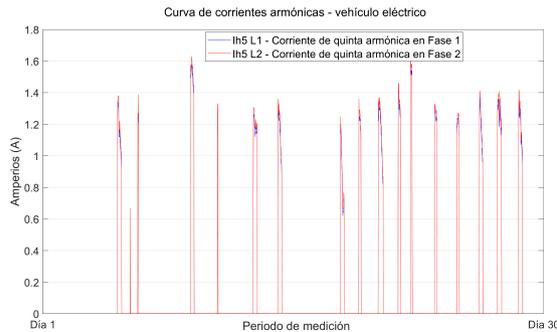
**Figura 5.** Curva de distorsión armónica de voltaje THD % (dato real de lecturas de carga de un VE en bajo voltaje)

En la Figura 6 se muestran las corrientes de tercera armónica de la fase 1 (IhL1) y fase 2 (IhL2) que relacionándolas con la Figura 5, estarían dentro de los valores permitidos por la regulación vigente para el efecto. Los armónicos mostrados en la figura en referencia, se presentaron solo cuando se realizó la carga del VE.



**Figura 6.** Curva de tercera armónica de corriente (medido en VE, bajo voltaje)

En la Figura 7 se muestran las corrientes de quinta armónica de la fase 1 (Ih5L1) y fase 2 (Ih5L2) que, relacionándolas con la Figura 5, estarían dentro de los valores permitidos por la regulación vigente para el efecto.



**Figura 7.** Curva de quinta armónica de corriente (medida en VE, bajo voltaje)

Es importante considerar, que, a pesar de que en el caso expuesto existen aportes importantes de armónicos en baja tensión (tercera y quinta armónica de corrientes) cuando se cargue un VE. Las mismas no superan los límites establecidos en la regulación ARCERNR 002-20, sin embargo, es probable que estos valores aumenten con el número de cargadores conectados, para lo cual, la empresa eléctrica de distribución deberá tomar las medidas preventivas que el caso amerite.

El caso presentado en este literal, se encuentra relacionado con [3], donde los autores mencionan que el aumento de carga de VE puede provocar problemas de distorsión armónica causados por el aumento de la inyección de la tercera armónica.

### 3.4. Pérdidas técnicas

En la Tabla 6 se muestra el aporte de las pérdidas técnicas en potencia y energía proyectadas al año 2030, con su respectiva identificación de acuerdo con el escenario analizado.

La proyección final en el 2030 considera el ingreso de 230 vehículos eléctricos.

**Tabla 6.** Pérdidas técnicas proyectadas al año 2030

Pérdidas técnicas	Año 2030 (caso base sin carga de VE)	Año 2030 (VE carga no controlada)	Año 2030 (VE carga controlada)
Potencia (kW)	151.51	265.21	200.87
Energía (MWh/año)	790.68	1333.95	1026.49

Según la Tabla 6, la penetración de los vehículos eléctricos en la red provocará un aumento considerable de pérdidas técnicas de potencia y energía en el sistema. En este sentido, comparando el caso base (escenario 1, año 2030 sin VE) en relación con el caso donde se produce la carga de VE de manera descontrolada (escenario 2), se observa que las pérdidas técnicas aumentan en 113 kW. En cambio, en el caso donde los VE se cargan mediante estrategias de gestión de demanda (escenario 3), el aumento de las pérdidas técnicas será de 49,36 kW en relación con el primer escenario.

Estos resultados demuestran el impacto positivo de aplicar métodos de gestión de demanda para reducir las pérdidas producidas por el funcionamiento propio del sistema.

## 4. Conclusiones

Mediante el desarrollo de este estudio se ha generado una línea base que servirá para los estudios de demanda que más adelante realice la Empresa Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP Unidad de Negocio Manabí, en lo que a electromovilidad se refiere.

Del análisis realizado se ha comprobado los efectos en la curva de demanda de un alimentador debido a la carga de vehículos eléctricos de manera controlada y no controlada. En este sentido, en el hipotético caso de que la carga de los VE para uso residencial se concentre toda en una hora determinada del día (carga no controlada), la misma puede representar incrementos de hasta 1 MW por cada 160 vehículos aproximadamente. En cambio, cuando se realice la carga de vehículos de manera controlada, el incremento de la demanda puede estimarse en alrededor de 0,1 MW por la misma cantidad de VE conectados a la red.

Partiendo de los casos estudiados, se evidencia que el caso controlado es el más idóneo para implementar en la carga de vehículos eléctricos en un alimentador de distribución, que, por la característica propia de la carga presenta caídas de voltaje, no es tan crítico como el escenario de carga descontrolada que evidencia una desmejora considerable en el perfil, pudiendo este último llegar a presentar valores desfavorables incluso por debajo de los niveles permitidos por la regulación de calidad citada en este documento.

La inclusión de la carga de VE tiene como consecuencia el ingreso de una carga adicional en el sistema. Esta carga referida es recomendable controlarla a través de mecanismos de gestión de demanda eléctrica, y así, evitar picos altos de demanda que pueden ocasionar inestabilidad en la red al provocar sobrecarga de los componentes, disminuyendo la vida útil de los mismos.

La aplicación de mecanismos de gestión de demanda eléctrica para controlar el ingreso de la carga de vehículos eléctricos (demanda controlada), generó como resultado que la curva de demanda del alimentador presente un aplanamiento (disminución de picos por demanda controlada), aumentando con ello la eficiencia de la red y por ende la capacidad de transporte disponible en el alimentador. Para el caso estudiado, tendríamos una disminución a favor de 1,6 MW comparando el escenario 2 con el escenario 3 en el mismo periodo de demanda.

Otro efecto positivo que representa para el sistema es la mejora de los niveles de voltaje a lo largo del recorrido del alimentador (perfil de voltaje). Con ello se comprueba que, el nivel de voltaje en el punto más lejano del alimentador, tendrá un nivel más alto siempre y cuando la carga de los VE se realice de manera controlada.

Con el ingreso promedio de 230 vehículos eléctricos con carga tipo I, la tasa de distorsión armónica no pone en riesgo el cumplimiento de THD (%) en medio voltaje en el alimentador estudiado. Presenta para el caso en análisis un promedio aproximado de 0,02 % de tasa de distorsión armónica en la salida del alimentador. Hay que considerar que la tasa de distorsión armónica (THD) puede aumentar con el número de cargadores conectados.

Según datos medidos de un vehículo eléctrico, se observó que en bajo voltaje existe un aporte importante de la tercera y quinta armónica de corriente, lo que se traduce que la distorsión total de armónicos de corriente contiene valores importantes a tener en consideración por la empresa distribuidora.

El ingreso paulatino de los VE en el sistema eléctrico de distribución, provocará un aumento considerable de pérdidas técnicas de potencia en el sistema. Para el caso del alimentador estudiado, el aumento puede alcanzar un incremento aproximado de 113 kW cuando la carga del VE se realice de manera no controlada, en cambio, al aplicar métodos de gestión de demanda o carga de VE de manera controlada, las pérdidas técnicas son inferiores, llegando a situarse en 49,36 kW de incremento.

## Referencias

- [1] H. Pico, I. Pazmiño, and B. Ponce, “Análisis de los factores que intervienen en el envejecimiento prematuro de las baterías de ion-litio mediante modelo teórico validado en laboratorio,” *Revista Técnica Energía*, vol. 17, no. 2, pp. 83–91, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v17.n2.2021.432>.
- [2] CEPAL, *Propuesta de marco regulatorio para acelerar la inversión en electromovilidad mediante la reconversión de vehículos que usan combustibles fósiles*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021. [Online]. Available: <https://bit.ly/3QBManI>
- [3] P. Rodríguez-Pajarón, A. Hernández, and J. V. Milanović, “Probabilistic assessment of the impact of electric vehicles and nonlinear loads on power quality in residential networks,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 129, p. 106807, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.106807>
- [4] A. A. Ismail, N. T. Mbungu, A. Elnady, R. C. Bansal, A. Kadir Hamid, and M. AlShabi, “Impact of electric vehicles on smart grid and future predictions: a survey,” *International Journal of Modelling and Simulation*, vol. 43, no. 6, pp. 1041–1057, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/02286203.2022.2148180>
- [5] A. Jenn and J. Highleyman, “Distribution grid impacts of electric vehicles: A California case study,” *iScience*, vol. 25, no. 1, p. 103686, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.103686>
- [6] A. Ibrahim and F. Jiang, “The electric vehicle energy management: An overview of the energy system and related modeling and simulation,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 144, p. 111049, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111049>
- [7] Y. Sáez, E. Collado, and M. Serrano, “Modelado de estaciones de recarga lenta para vehículos eléctricos mediante software: revisión del estado del arte,” *Revista de Iniciación Científica*, vol. 7, no. 2, pp. 9–19, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v7.2.3334>
- [8] S. Goel, R. Sharma, and A. K. Rathore, “A review on barrier and challenges of electric vehicle in India and vehicle to grid optimisation,” *Transportation Engineering*, vol. 4, p. 100057, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2021.100057>
- [9] D. T. Sandoval and E. G. Torres, “Respuesta de demanda de energía por introducción de vehículos eléctricos: estado del arte,” *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 16,

- no. 1, pp. 5–11, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33412/idt.v16.1.2433>
- [10] A. G. Anastasiadis, G. P. Kondylis, A. Polyzakis, and G. Vokas, “Effects of increased electric vehicles into a distribution network,” *Energy Procedia*, vol. 157, pp. 586–593, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.223>
- [11] H. Das, M. Rahman, S. Li, and C. Tan, “Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 120, p. 109618, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109618>
- [12] A. K. Karmaker, S. Roy, and M. R. Ahmed, “Analysis of the impact of electric vehicle charging station on power quality issues,” in *2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, 2019, pp. 1–6. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ECACE.2019.8679164>
- [13] S. Habib, M. M. Khan, F. Abbas, L. Sang, M. U. Shahid, and H. Tang, “A comprehensive study of implemented international standards, technical challenges, impacts and prospects for electric vehicles,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 13 866–13 890, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2812303>
- [14] S. Sharma, A. K. Panwar, and M. Tripathi, “Storage technologies for electric vehicles,” *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 7, no. 3, pp. 340–361, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.04.004>
- [15] L. González, E. Siavichay, and J. Espinoza, “Impact of EV fast charging stations on the power distribution network of a Latin American intermediate city,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 107, pp. 309–318, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.017>
- [16] ARCERNNR, *Panorama Eléctrico*. Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2022. [Online]. Available: <https://acortar.link/jikL6I>
- [17] A. Mohammad, R. Zamora, and T. T. Lie, “Integration of electric vehicles in the distribution network: A review of PV based electric vehicle modelling,” *Energies*, vol. 13, no. 17, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/en13174541>
- [18] AECERNNR, *Regulación Nro. ARCERNNR - 002/20, Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica*. Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2020. [Online]. Available: <https://bit.ly/44vx74C>
- [19] EATON. (2024) Análisis de sistemas de distribución CYMDIST. EATON Power Business World Wide. [Online]. Available: <https://bit.ly/3Uu3L1T>
- [20] A. A. Navarro Espinosa, M. A. Díaz Verriera, and J. M. Yáñez Castro, “Vehículos eléctricos y el impacto en el sistema de potencia. Análisis de la operación y emisiones,” *Revista de energía de Latinoamérica y el Caribe ENERLAC*, vol. 5, no. 2, pp. 14–39, 2021. [Online]. Available: <https://bit.ly/44zJXiW>
- [21] J. Lascano, L. Chiza, R. Saraguro, C. Quinatoa, and J. Tapia, “Estimación de la demanda de una estación de carga para vehículos eléctricos mediante la aplicación de métodos probabilísticos,” *Revista Técnica Energía*, vol. 20, no. 1, pp. 52–64, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v20.n1.2023.569>