

# Demand Estimation for an Electric Vehicles Charging Station Through the Application of Probabilistic Methods

## Estimación de la Demanda de una Estación de Carga para Vehículos Eléctricos Mediante la Aplicación de Métodos Probabilísticos

 J.S. Lascano<sup>1</sup>  R. Saraguro<sup>1</sup>  C. Quinatoa<sup>1</sup>  J. Tapia<sup>1</sup>  L. Chiza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

E-mail: [julyosantoyo@gmail.com](mailto:julyosantoyo@gmail.com); [rsaraguro@gmail.com](mailto:rsaraguro@gmail.com); [carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec](mailto:carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec); [jessy.tapia42591@utc.edu.ec](mailto:jessy.tapia42591@utc.edu.ec)

<sup>2</sup>Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

E-mail: [luis.chiza@epn.edu.ec](mailto:luis.chiza@epn.edu.ec)

### Abstract

This paper presents the study of the demand estimation of an electric vehicle charging station based on the use of Monte Carlo simulation. The modeling of the electrical system is done through the PowerFactory software, on the other hand, for the development of the Monte Carlo simulations and the processing of the information, it is done through the use of Python software. The analysis in general is focused on determining the impact of the integration of electric vehicles in the electric grid, so that scenarios that emulate the operation of the electric station are generated, taking into account the demand of electric vehicles within their charging points, so that random scenarios are generated considering the number of connected vehicles and the percentage of vehicle charging. Another aspect that is considered is the integration of photovoltaic generation systems, so that an analysis of their impact on the operation of the electric grid is performed, taking into account the random operation of the electric station.

**Index terms**— Montecarlo, probabilistic, pv systems, electric vehicles, charging station.

### Resumen

En el presente artículo se presenta el estudio de la estimación de demanda de una estación de carga de vehículos eléctricos basado en el uso de simulación de Montecarlo. La modelación del sistema eléctrico se lo realiza a través del software de PowerFactory, por otra parte, para el desarrollo de las simulaciones de Montecarlo y el procesamiento de la información, se lo realiza a través del uso del software de Python. El análisis en general está enfocado en determinar el impacto de la integración de vehículos eléctricos en la red eléctrica, de forma que se generan escenarios que emulen la operación de la electrolinera, teniendo en cuenta la demanda de vehículos eléctricos dentro de sus puntos de carga, de forma que se generan escenarios aleatorios considerando el número de vehículos conectados y el porcentaje de carga de los vehículos. Otro aspecto que se considera es la integración de sistemas de generación fotovoltaica, de forma que se realiza el análisis de su impacto en la operación de la red eléctrica teniendo en cuenta la operación aleatoria de la electrolinera.

**Palabras clave**— Montecarlo, probabilísticos, sistemas fotovoltaicos, vehículos eléctricos, electrolinera.

Recibido: 23-03-2023, Aprobado tras revisión: 14-06-2023

Forma sugerida de citación: Lascano, J.; Saraguro, R.; Quinatoa, C.; Tapia, J.; Chiza, L. (2023). "Estimación de la Demanda de una Estación de Carga para Vehículos Eléctricos mediante la Aplicación de Métodos Probabilísticos". Revista Técnica "energía". No. 20, Issue I, Pp. 52-64

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

Doi: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v20.n1.2023.569>

© 2023 Operador Nacional de Electricidad, CENACE

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enfoca en buscar energías alternativas que sustituyan el consumo de combustibles fósiles en transporte, el cual es el causante de la contaminación atmosférica en un 80% aproximadamente [1]. Para el ingreso de vehículos eléctricos en el sistema de transporte es necesario el análisis de la adecuación del sistema eléctrico actual a diferentes posibilidades de consumo.

Un limitante para la adquisición de vehículos eléctricos en Ecuador, es que se dispone solo de cuatro ciudades donde se puede realizar la provisión de estas unidades con disponibilidad de estaciones de carga.

Cabe recalcar que Tungurahua está posicionada en el puesto tres en comercialización de vehículos [2] y buscando nuevas tecnologías amigables con el medio ambiente, realizando estudio de mercado y pruebas de rutas para el sector de vehículos eléctricos. Por lo cual nace la idea del estudio y diseño para una estación de carga en la zona centro del país.

Según Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador-PLANEE, mediante un modelo logarítmico estima una capacidad máxima de 2MW para el año 2018 que representa 425 vehículos, y para el 2027 estima proveer 7MW [3].

Es muy importante considerar el comportamiento de la demanda teniendo en cuenta las redes de distribución. Analizando perfiles de voltaje y potencia máxima en la estación de carga. Además, se tiene que tener en cuenta la hora del día, y si la carga es lenta, rápida o super rápida.

Mediante simulaciones de Monte Carlo a través de un modelo matemático en un paquete computacional, se desarrollará “n” simulaciones, las mismas que representarán distintos escenarios operativos, y estimar perfiles de demanda de energía, considerando la disponibilidad de vehículos eléctricos y las características de carga, y posible impacto sobre la red de distribución.

Con las características previas para la estimación de escenarios posibles con el desarrollo del método Monte Carlo, se logrará estimar la potencia y energía consumida por una flota de vehículos eléctricos.

Dentro del análisis se realizará la integración progresiva de vehículos eléctricos de distintas características hacia la red eléctrica. Y de igual forma una serie de vehículos de forma progresiva a la estación de carga.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Fundamentación Teórica

#### 2.1.1 Sistemas Eléctricos de potencia Modernos

La concepción tradicional de los sistemas eléctricos de potencia es la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. [4]

En la concepción de los sistemas eléctricos de potencia modernos, es importante que representen las siguientes características [5]:

- Permita la integración de energías renovables.
- Participación activa de los clientes para que la conservación de la energía sea mejor.
- Uso adecuado de los activos existentes con enfoque en la sostenibilidad a largo plazo.
- Optimización del flujo de energía para la reducción de pérdidas y disminución de costo de energía.
- Integración de vehículos eléctricos para la reducción de la dependencia de combustible de hidrocarburos.
- Gestión de la generación distribuida y almacenamiento de energía.
- Integración de sistemas de comunicación y control que promuevan la interoperabilidad, e incrementen la seguridad y confiabilidad operativa.

#### 2.1.2 Características de la Carga

En un sistema eléctrico, el consumidor final o carga del sistema puede estar relacionado con un cliente individual o grupo de clientes, los cuales tienen un comportamiento variante en el tiempo dentro de la red de distribución [6].

Las cargas son elementos que consumen, generan o controlan potencia activa y/o reactiva, además de tener sensibilidad frente a variaciones transitorias, dinámicas o de estado estable [7].

#### 2.1.3 Vehículos Eléctricos

Los vehículos eléctricos se caracterizan por el tipo de tecnología que emplean dentro de su estructura, los principales tipos a nivel mundial son los siguientes:

- **Vehículos eléctricos de Baterías (BEV):** Emplea 100% energía eléctrica, grandes baterías y alcanza de 160 a 250 km de autonomía con una sola carga. Son los vehículos sobre los cuales se concentrará el presente estudio.
- **Vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV):** dispone de un motor de combustión interna convencional y un motor eléctrico. Que se lo carga a través de un enchufe.

#### 2.1.4 Sistemas de Estaciones de Carga para Vehículos Eléctricos

Las estaciones de carga de vehículos eléctricos deben tener características como sistemas de conversión de energía de alto voltaje y corriente para el caso de carga rápida, además de tener la capacidad de suplir la demanda

de un determinado número de cargas y vehículos conectados [8]. Los tipos de estación de carga son los siguientes [8] [9] [10] [11].

- **Estaciones de Cargas Residenciales:** extrae menos corriente de la red, minimizando el impacto de la demanda de voltaje adicional en horas pico. Usualmente la carga se realiza en horario nocturno, lo cual da una eficacia de costo e impacto a la red.
- **Estación de carga de estacionamiento:** aprovecha el tiempo de estacionamiento de los usuarios, lo cual en tiempo es un promedio de 4 a 8 horas en lugares de trabajo, restaurantes y centros comerciales.
- **Estaciones de carga públicas:** el objetivo principal es proporcionar estaciones de carga rápida. Usando convertidores estáticos de tipo AC-DC y DC-DC, conectados a un bus DC de tipo capacitivo, es objetivo principal del presente trabajo.

## 2.2. Fundamentación metodológica

De acuerdo con la norma IEC 618581-1, los sistemas de carga rápida se encuentran en puntos de carga públicos, los cuales proporcionan una corriente de carga mucho mayor [12].

Los modelos de carga relacionados con vehículos eléctricos son: modelos de carga tradicionales, modelos derivativos y modelos con incertidumbre aleatoria [13].

### 2.2.1 Modelo de carga tradicional

Emplean modelos de carga clásicos de impedancia, corriente o potencia constante:

- **Modelo de corriente constante:** se los denomina vehículos de red o en inglés V2G (vehicle to Grid) [13]. Y se usa este modelo para el análisis de estabilidad de voltaje [14].
- **Modelo de Potencia Constante:** el modelo contempla variaciones de potencia activa y reactiva en los vehículos eléctricos, con independencia de variaciones de voltaje [11]. Es usado en estudios de estabilidad de voltaje en sistemas de distribución con alta penetración de vehículos eléctricos [13].
- **Modelo de Impedancia Constante:** Tiene una tasa de variaciones constantes entre la variación de voltaje y la corriente de entrada de vehículo eléctrico.

### 2.2.2 Modelo de carga derivativo

La impedancia de entrada del sistema de carga es constante, por lo que se tiene una tasa de variación constante entre el voltaje y corriente de entrada al vehículo eléctrico.

- **Modelo exponencial:** considera el comportamiento de un cargador de baterías, el cual tiene una etapa de rectificador de voltaje de la red con control de factor de potencia y un convertidor DC-DC con modulación de ancho de pulso (PWM), dada por la siguiente expresión:

$$\frac{P}{P_o} = k_{cp} + k_{vd} \left( \frac{v}{v_o} \right)^\alpha \quad (1)$$

Donde:

- $P_o$ : potencia consumida
- $v_o$ : voltaje de referencia
- $k_{cp}$ : tasa de variación de la componente total de potencia  $P_{cp}$
- $k_{vd}$ : tasas de variación de la componente dependiente de voltaje  $P_{vd}$
- $P$ : potencia total de entrada
- $\alpha$ : parámetro que determina el tipo de variación entre la potencia y voltaje del vehículo

- **Modelo polinomial ZIP:** está basado en un cargador de vehículos eléctricos, consta de un convertidos AC/DC controlado con un filtro en el lado de AC y un convertidor tipo Buck DC/DC. Se lo controla con variación de corriente y voltaje para rangos de batería entre el 0 y 100%. La relación de potencia consumida y variación de carga, potencia y corriente está dada por:

$$P_{ZIP}^{dk} = P_0^{EV} \left( Z_p^{EV} (V_0^{EV})^2 + I_p^{EV} V_0^{EV} + P_p^{EV} \right) \quad (2)$$

$$Q_{ZIP}^{dk} = Q_0^{EV} \left( Z_q^{EV} (V_0^{EV})^2 + I_q^{EV} V_0^{EV} + P_q^{EV} \right) \quad (3)$$

Donde

- $P_0^{EV}$ : potencia activa a la potencia nominal
- $Q_0^{EV}$ : potencia reactiva a la potencia nominal
- $Z_p^{EV}, I_p^{EV}, P_p^{EV}, Z_q^{EV}, I_q^{EV}, P_q^{EV}$ : parámetro ZIP que me ajuste tienen en el modelo.

- **Modelo con distribución de probabilidad:** se basa en el uso de distribución de probabilidad considerando por ejemplo el estado inicial de la carga, o el consumo promedio de potencia del vehículo eléctrico [15]. Y se caracteriza por:
  - La definición de la variable aleatoria y el campo de variación.
  - Determinar las probabilidades a través de la definición de una función de distribución.

### 2.2.3 Modelo de carga con incertidumbre aleatoria

Es un modelo no determinístico que emplea una distribución espacial y temporal de los vehículos eléctricos, considerando los hábitos y comportamiento de los conductores, en el modelo de predicción de rutas optimas, horarios de carga [16].

### 2.3. Estación de carga rápida

En este tipo de estación se estima que, entre 15 a 30 min, llega a una carga de 0 a 80% de la batería del vehículo [17].

La potencia entregada por estaciones convencionales está entre 20 kW a un voltaje entre 200 y 600V [18]. Para aspectos como la regulación de tipos de carga, tipos de cargadores o modo de carga, no existe normativa vigente en Ecuador por lo que toca referirse a la normativa internacional vigente.

La Asociación Española de Normalización (AENOR) es una certificadora de estándares y protocolos a nivel mundial. AENOR certifica normas ISO 6469-3, UNE-EN 61851-1 o IEC 61851-1.

### 2.4. Simulación de Montecarlo

La simulación de Montecarlo se basa en la generación de datos de forma aleatoria, mediante el uso de funciones de distribución conocidas, y puede ser usada en el análisis de escenarios para realizar estimaciones y toma de decisiones a partir de variables con incertidumbre.

- Tiene como salida la generación de muestras basadas en modelos probabilísticos
- Los datos de entrada se basan en curvas de distribución
- El resultado obtenido se lo conoce al realizar una serie de experimento.

## 3. PROPUESTA METODOLÓGICA

Para el análisis del problema se propone el estudio de la estimación de la demanda de una estación de carga de vehículos eléctricos a través del uso de simulaciones de Montecarlo.

Para este fin, se hace uso del software PowerFactory de DIgSILENT, en donde se parametrizan los elementos del alimentador del sistema de distribución, sistema de generación fotovoltaica, cargas de vehículos eléctricos y el sistema de carga de vehículos eléctricos. Se genera varios casos operativos con la finalidad de evaluar la capacidad de carga del sistema de distribución mediante el uso del modelo Montecarlo.

### 3.1. Demanda de vehículos eléctricos

Para definir la demanda de vehículos eléctricos, se toma como referencia las características de los vehículos presentes en el mercado, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Distribución de probabilidad de vehículos eléctricos por marca [19] [6] [20]

Marc a	Potenc ia activa [kW]	Capacid ad [kWh]	Autonom ía [km]	KWh/k m	Tipo de Baterí a
Renau lt Zoe	65	22	160	0.14	Li-Ion
Renau lt Kango o	44	24	160	0.14	Li-Ion
Nissan Leaf	80	24	120	0.20	Li-Ion
BYD E5	160	48	240	0.20	Li-Ion
Kia Soul	81.4	27	212	0.12	Li-Ion

### 3.2. Modelos de sistemas eléctricos y estaciones de carga de vehículos eléctricos

Los aspectos importantes para la simulación en el software PowerFactory son las características de los vehículos eléctricos, estaciones de carga, sistemas fotovoltaicos, además del dimensionamiento con base en la característica de carga rápida.

Se considera la modelación de un sistema de distribución mediante el uso de PowerFactory de DIgSILENT.

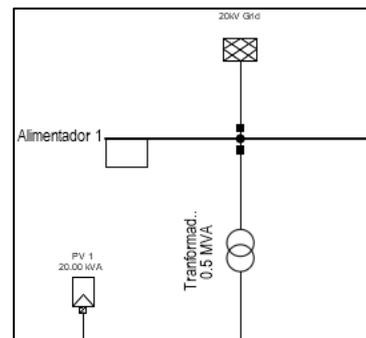


Figura 1: Alimentador de distribución

En la Fig. 1, se muestra el modelo del alimentador primario del sistema de distribución, posterior pasa por un transformador adjunto, obteniendo los voltajes adecuados para la alimentación a la red residencial.

A continuación, en la Tabla 2 se muestra las características de alimentación de la barra Ambato, y en la Tabla 3 las características del transformador de distribución.

Tabla 2: Características de alimentador Ambato

TRIFÁSICO			MONOFÁSICO		
SK"	1131.556	MVA	X1	4.619237	ohm
IK"	9.468177	kA	R0	0.1188596	ohm
R1	0.00605648	pu	X0	2.581746	ohm
X1	0.09702242	pu	X0/X1	0.55891179	
X/R	16.0196054		R0/X0	0.04603846	
	Voltaje	Ángulo			
Voltaje	0.9996995	-9.45			

Tabla 3: Características de transformador de distribución [21]

Potencia Nominal	200 kVA
Voltaje Nominal en el primario	22 kVA
Voltaje Nominal en el secundario	400 V
Perdidas en el cobre en vacío	650 W
Pérdidas en el cobre con carga	3250 W
Voltaje de cortocircuito	4%
Grupo de conexión	Dyn11

Para la integración de sistemas de energía renovable se consideró el uso de Paneles fotovoltaicos, obsérvese en la Fig. 2.

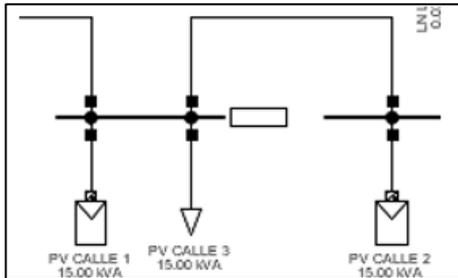


Figura 2: Modelos de Paneles fotovoltaicos en PowerFactory

El dimensionamiento del panel fotovoltaico está dado por:

$$P_{demanda} = \frac{\text{Consumo promedio} \left(\frac{kWh}{\text{día}}\right)}{\text{Días del mes} * HSP * \text{Pérdidas}} \quad (4)$$

Donde:

HSP: radiación solar sobre metro cuadrado.

Para determinar el número de paneles solares se utiliza la ecuación 5.

$$N_{paneles} = \frac{P_{demanda}}{P_{mpp}} \quad (5)$$

Donde:

$P_{mpp}$ : potencia máxima de panel fotovoltaico

En la Fig. 3, se observa la estación de carga modelada con una de las barras del sistema, de manera que la

demanda de carga del sistema se vea reflejada en la misma.

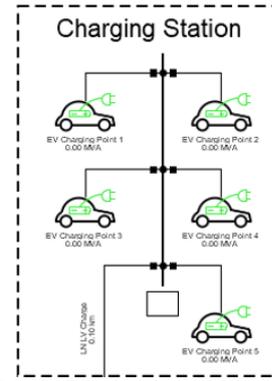


Figura 3: Modelo de Estación de carga en PowerFactory

### 3.3. Estimación de demanda en vehículos eléctricos

Para las funciones de probabilidad de entrada a la simulación de Montecarlo, se considera las distribuciones de probabilidad por marca de los vehículos que se encuentran en el mercado [6] [20]. Tabla 4.

Tabla 4: Distribución de probabilidad de vehículos eléctricos para marca [19] [6] [20]

Marca	Probabilidad
Renault Zoe	0.08
Renault Kangoo	0.10
Nissan Leaf	0.12
BYD E5	0.30
Kia Soul	0.31

La distribución de horas de carga se realiza enfocado en vehículos eléctricos emitido por el MMERNNR y ARCERNNR [22], se observa en la Tabla 5.

Tabla 5: Distribución de probabilidad de inicio de conexión

Hora [h]	Probabilidad		
	Jueves	Viernes	Sábado
0:00	0	0	0
1:00	0	0	0
2:00	0	0	0
3:00	0	0	0
4:00	0	0	0
5:00	0	0	0
6:00	0	0	0
7:00	0.01	0.01	0.01
8:00	0.02	0.02	0.02
9:00	0.04	0.04	0.04
10:00	0.08	0.08	0.08
11:00	0.02	0.02	0.02
12:00	0.04	0.04	0.04
13:00	0.18	0.18	0.18
14:00	0.12	0.12	0.12
15:00	0.07	0.07	0.07
16:00	0.03	0.03	0.03
17:00	0.01	0.01	0.01
18:00	0.12	0.12	0.12
19:00	0.16	0.16	0.16
20:00	0.08	0.08	0.08
21:00	0.02	0.02	0.02
22:00	0.01	0.01	0.01
23:00	0	0	0

Se considerará a un valor del 40 % del valor medio como desviación estándar [23] [24]. Además, otros parámetros que aumentarán a la aleatoriedad del modelo es el uso de la distribución de probabilidad por vehículo eléctrico y la distribución de probabilidad por hora y día.

En este sentido la generación de números aleatorios estará dada por:

$$\begin{aligned}
 &X_{potencia} \\
 &= \text{random.normal}(n \\
 & * \text{Valor medio, distribución de probabilidad por vehículo} \\
 & * \text{distribución de probabilidad por hora} \\
 & * \text{desviación estándar})
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Dentro del parámetro del valor medio, se considerará la aleatoriedad de la integración de uno o dos vehículos al punto de carga o la posibilidad que ningún vehículo esté conectado al punto de carga a través de la variable n.

### 3.4. Estimación de la demanda en electrolinerías

Se utiliza un proceso de carga rápida, el cual dependerá de tres factores

- Tamaño de batería (kWh)
- Potencia del punto de recarga (kW)
- Potencia máxima de recarga del vehículo eléctrico.

Si tienen diferente potencia el punto de carga y el vehículo, tendrá mayor predominancia el menor.

Se estima la entrada de cada cargador en 58 KVA [26]. Tiene un factor de potencia de 0,95 de acuerdo con CONELEC-044/11. La potencia que consume cada cargador será de 55.1 kW, y la potencia total de los cargadores será de 275.5 kW. Además, tendrá consumos auxiliares que se añaden a la potencia total (Tabla 6).

Tabla 6: Previsión de carga de la electrolinería considerando cargadores y servicios auxiliares [21]

Estación de Carga V=400 V	Voltaje [V]	Consumo [kW]	Potencia [kW]	Factor de Potencia
Cargador 1	400	55.1	55.1	0.95
Cargador 2	400	55.1	55.1	0.95
Cargador 3	400	55.1	55.1	0.95
Cargador 4	400	55.1	55.1	0.95
Cargador 5	400	55.1	55.1	0.95
			275.5	
Estación de Carga V=400 V	Corriente Nominal [A]	Factor de demanda	kVA máximo	
Cargador 1	83.72	1.00	58	
Cargador 2	83.72	1.00	58	
Cargador 3	83.72	1.00	58	
Cargador 4	83.72	1.00	58	
Cargador 5	83.72	1.00	58	

	418.6	TOTAL	290	
		<b>Demanda máxima [kVA]</b>	<b>174</b>	
		<b>Demanda máxima [kW]</b>	<b>165</b>	
Carga 220-170 V	Voltaje [V]	Consumo [W]	Cantidad [Unidades]	Potencia [W]
Iluminación exterior	220	100	15	1500
Tomacorriente	220	200	10	2000
Motor	220	2238	1	2238
				5738
Carga 220-170 V	Corriente Nominal [A]	Factor de demanda	kVA máximo	
Iluminación exterior	7.18	0.70	1.11	
Tomacorriente	9.57	0.35	0.74	
Motor	10.71	1.00	2.36	
			TOTAL	4.20
		<b>Demanda máxima [kVA]</b>	<b>174</b>	
		<b>Demanda máxima [kW]</b>	<b>165</b>	
		<b>Potencia Total Demandada [kVA]</b>	178.20	
		<b>Potencia Total Demandada [kW]</b>	169.29	

### 3.5. Simulación de Montecarlo

La simulación de Montecarlo se basa en el diagrama de flujo de la Fig. 4 y sigue los siguientes pasos: Cálculo de condiciones iniciales, Generación de curvas de distribución normal, Modificar los valores de los perfiles de carga de los EV, Generación de estados operativos aleatorios, asignación de condiciones operativas, cálculo de flujo de potencia, extracción, procesamiento y análisis de resultados.

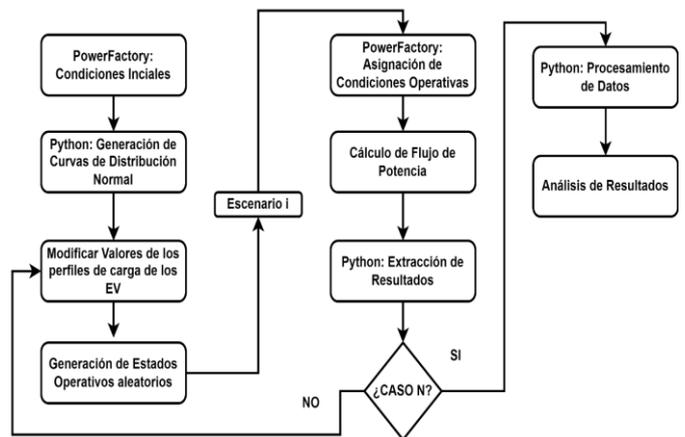


Figura 4: Diagrama de flujo de Simulación de Montecarlo Propuesta

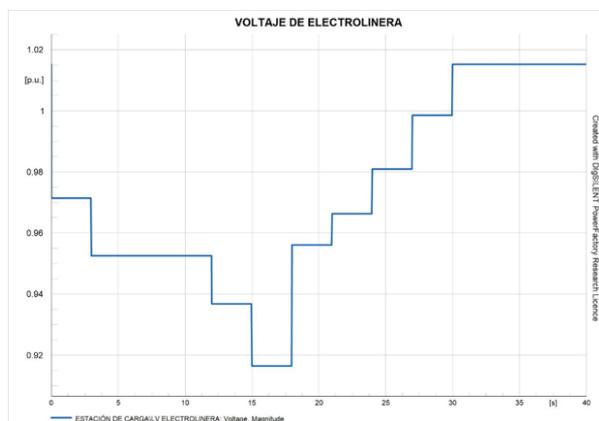
### 4. RESULTADOS

Se considera la Tabla 7 para la ubicación de vehículos.

**Tabla 7: Ubicación de vehículos considerando sus condiciones iniciales de potencia activa**

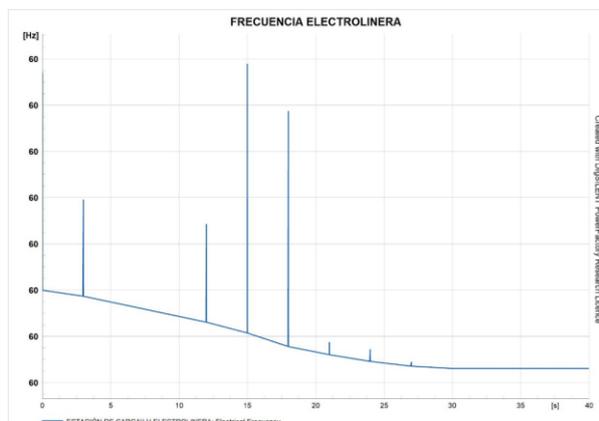
Marca	Punto de Carga	Potencia activa [kW]
Renault Zoe	1	65
Renault Kangoo	2	44
Nissan Leaf	3	80
BYD E5	4	160
Kia Soul	5	81.4

En la Fig. 5 se observa el comportamiento del Voltaje al momento de integración de cada vehículo, obteniendo una caída de voltaje de forma progresiva hasta llegar a un valor inferior del límite (0.92 p. u).



**Figura 5: Perfil de voltaje de barra de electroalimentación-Condición Inicial**

Para el análisis se realiza la inclusión de los siguientes vehículos con los diferentes perfiles de carga.

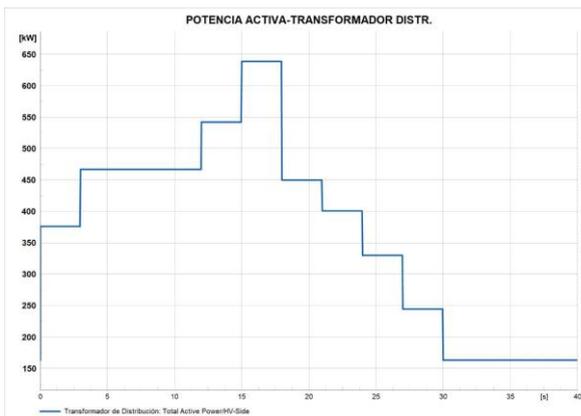


**Figura 6: Frecuencia de la barra de electroalimentación-Condición Inicial**

**Tabla 8: Perfil de carga de vehículos eléctricos para cálculo de condiciones iniciales**

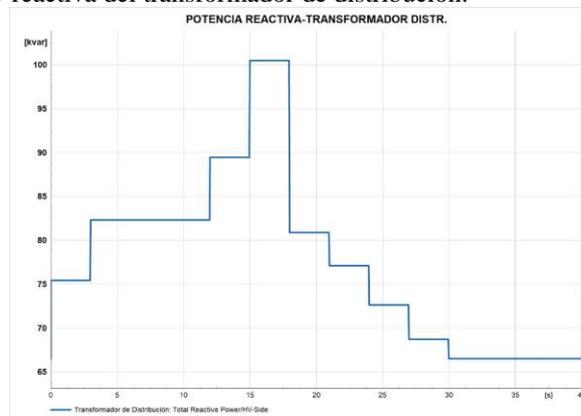
Potencia [kW]	Tiempo	Potencia acumulada [kW]
81.4	3	81.4
80	6	161.4
160	9	321.4
44	12	365.4
65	15	430.4

En la Fig. 6 se observa que la frecuencia de la barra presenta valores transitorios en cada integración de cada vehículo. En donde los valores más elevados son durante la conexión de la carga acumulada.



**Figura 7: Potencia activa del transformador de distribución-Condición Inicial**

La Fig. 7 y 8 ante la integración de vehículos en la red. Se observa el comportamiento de la potencia activa y reactiva del transformador de distribución.



**Figura 8: Potencia reactiva del transformador de distribución-Condición Inicial**

El análisis se lo realiza en el lado de bajo voltaje, y presenta un similar comportamiento de la barra de la electrolinera, manteniéndose dentro del límite estable.

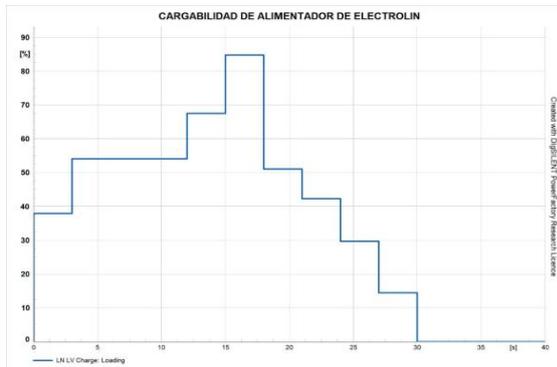


Figura 9: Voltaje del transformador de distribución en el lado de bajo voltaje- condiciones iniciales

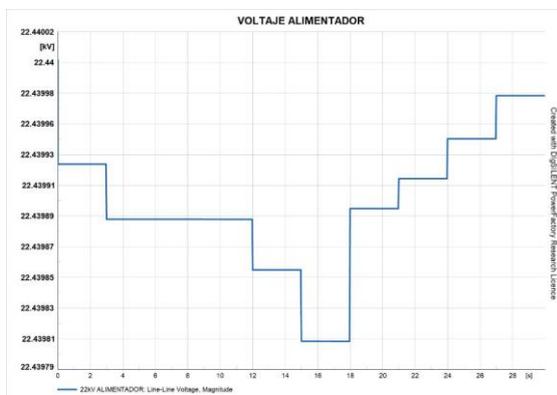


Figura 10: Voltaje del alimentador primario- Condiciones iniciales

En la Fig. 10 no presentan caídas de voltaje significativas y representa el lado de voltaje del alimentador primario.

Para perfiles de carga se ha definido la curva de carga para los días jueves, viernes y sábado, y se considera el de mayor valor medio de demanda el BYD E5 con una potencia media de 160 kW. Obteniendo el siguiente perfil de carga para el día jueves 13:0 pm.

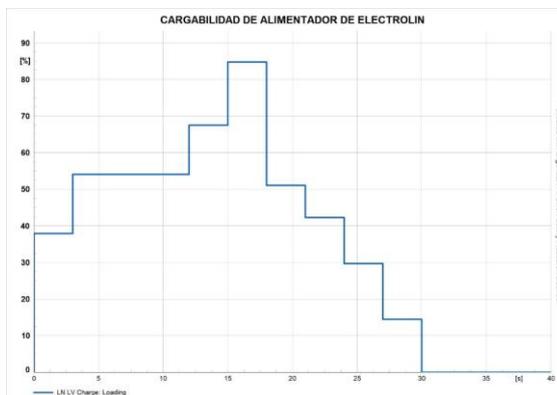


Figura 11: Cargabilidad del alimentador de la electrolinera- condiciones iniciales

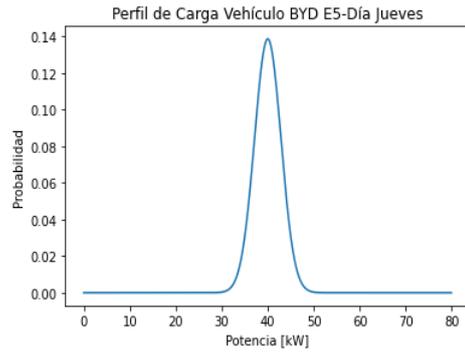


Figura 12: Curva de distribución de probabilidad vehículo BYD E5. día jueves 13:00 pm

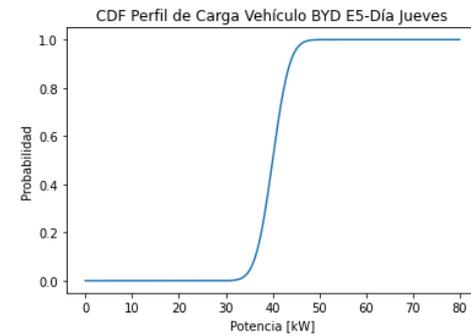


Figura 13: Curva CDF de distribución de probabilidad vehículo BYD E5. día jueves 13:00 pm

En la Fig. 13 se observa el comportamiento frente a la generación de casos operativos, teniendo una mayor probabilidad de valores de carga entre 40 y 80 kW.

### Simulación Montecarlo

#### Caso 1: demanda día jueves

Se realiza 1000 simulaciones, obteniendo las Tablas 9, 10 y 11.

Tabla 9: Valores máximos y mínimos de voltaje en las barras del sistema

Elemento	Voltaje [p.u.]	
	Máximo	Mínimo
Barra Alimentador Ambato	1.02	1.02
Barra LV Transformador Distribución	1.015	0.997
Barra Electrolinera	1.015	0.885
Manzana 1	1.009	0.991
Manzana 2	1.005	0.987
Manzana 3	1.001	0.982
Manzana 4	0.999	0.981
Manzana 5	1.009	0.991
Manzana 6	1.007	0.989
Manzana 7	1.002	0.983
Manzana 8	1.002	0.983
Manzana 9	1.004	0.985
Manzana 10	1.001	0.982
Manzana 11	0.996	0.978

Manzana 12	0.996	0.978
Manzana 13	0.996	0.977
Manzana 14	1.000	0.981
Manzana 15	0.993	0.974
Manzana 16	0.989	0.971
Manzana 17	0.990	0.971
Manzana 18	0.990	0.972

Tabla 10: Valores máximos y mínimos de potencia activa

	Potencia Activa [kW]	
	Máximo	Mínimo
EV Punto de Carga 1	65.877	0
EV Punto de Carga 2	44.654	0
EV Punto de Carga 3	81.144	0
EV Punto de Carga 4	166.254	0
EV Punto de Carga 5	84.126	0

Tabla 11: Valores máximos y mínimos de carga de las líneas del sistema

Elemento	Cargabilidad [%]	
	Máximo	Mínimo
LN LV Charge	52.724	0
LN LV 01	12.566	12.339
LN LV 02	7.603	7.463
LN LV 03	15.16	14.882
LN LV 04	10.236	10.044
LN LV 05	7.626	7.485
LN LV 06	25.378	24.909
LN LV 07	27.735	27.229
LN LV 08	35.268	34.610
LN LV 09	46.113	45.266
LN LV 10	18.587	18.252
LN LV 11	29.891	29.348
LN LV 14	22.883	22.454
LN LV 15	7.653	7.511
LN LV 16	29.110	28.565
LN LV 17	7.598	7.459
LN LV 18	10.173	9.984
LN LV 20	7.627	7.486
LN LV 21	7.567	7.429
LN LV 22	28.896	28.364
LN LV 23	13.621	13.372
LN LV 24	7.585	7.447
LN LV 25	6.066	5.955
LN LV 26	10.245	10.053
LN LV 27	7.678	7.536

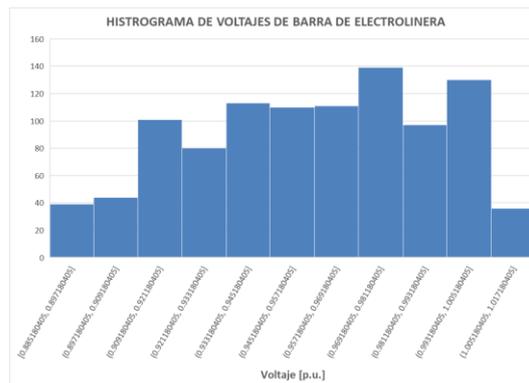


Figura 14: Histograma de voltaje de la barra de electrolinera. Caso 1

En la Tabla 10 se observa que la barra de electrolinera tiene un valor de 0,885 p.u que está bajo el límite mínimo. Pero ocurre en menor frecuencia como se observa en la Fig. 14.

Se considera el uso de CDF, obteniendo que los escenarios de operación fuera del límite inferior de voltaje no sobrepasa el 30%. Por lo que se necesita definir estrategias para mitigar en cierta forma dichos escenarios.

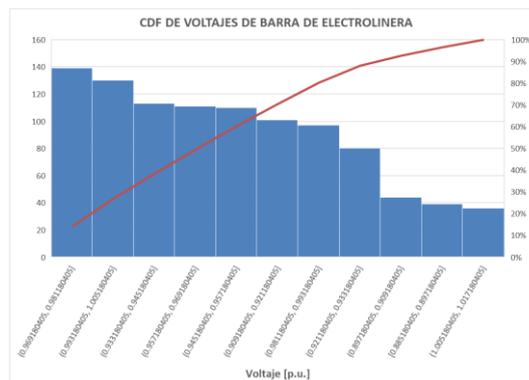


Figura 15: CDF de voltaje de barra de la electrolinera. Caso 1

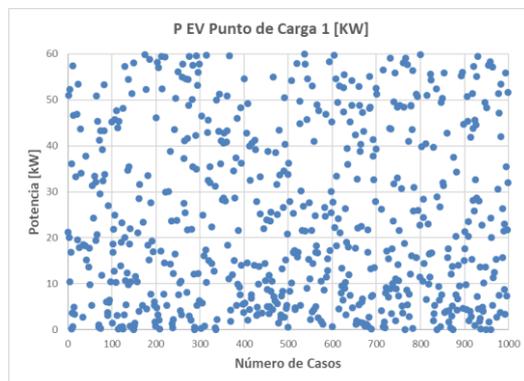


Figura 16: Generación de casos- Porcentaje del vehículo eléctrico 1. Caso 1

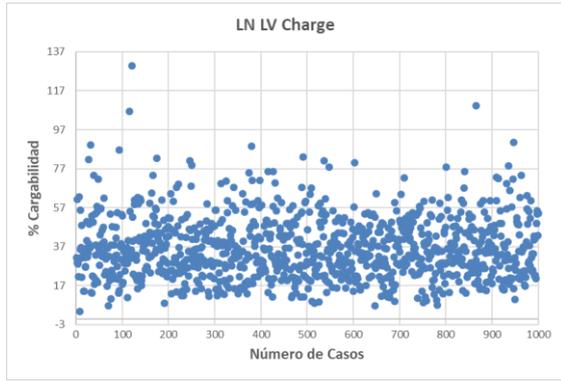


Figura 17: Generación de casos-Potencia activa de vehículo eléctrico. Caso 1

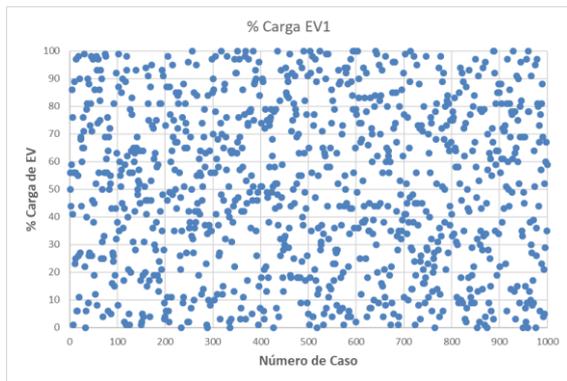


Figura 18: Generación de casos-Potencia acaba de vehículos 1. Caso 1

En la Fig. 16 y 17 se observa que se toma valores de carga del vehículo desde 0 a 100%, lo cual permite obtener un espectro de todos los casos posibles.

En la Fig. 18 la cargabilidad de la línea de alimentación de la electrolinera presenta valores que superan el 77% hasta 135%, poco recurrentes presentando un escenario de sobrecarga de líneas.

**Caso 2: Integración de sistemas fotovoltaicos**

Teniendo un escenario de sobrecarga de 35%, considerando que la potencia máxima promedio es 430.4 kW. Se considera suplir el 60% del excedente mediante el uso de paneles solares.

Tabla 13: Comparación de valores de voltaje de los casos de estudio con y sin PV

Elemento	Voltaje [p.u.]	
	Mínimo sin PV	Mínimo con PV
Barra Alimentador Ambato	1.02	1.02
Barra LV Transformador Distribución	0.997	1.013
Barra Electrolinera	0.885	0.963
Manzana 1	0.991	1.008
Manzana 2	0.987	1.004
Manzana 3	0.982	0.999
Manzana 4	0.981	0.998
Manzana 5	0.991	1.016
Manzana 6	0.989	1.018

Manzana 7	0.983	1.002
Manzana 8	0.983	1.002
Manzana 9	0.985	1.007
Manzana 10	0.982	1.001
Manzana 11	0.978	0.996
Manzana 12	0.978	0.996
Manzana 13	0.977	0.996
Manzana 14	0.981	1.001
Manzana 15	0.974	0.997
Manzana 16	0.971	0.993
Manzana 17	0.971	0.993
Manzana 18	0.972	0.993

Tabla 14: Ubicación y Potencia de paneles fotovoltaicos

UBICACIÓN	POTENCIA INSTALADA [KW]
Manzana 1	10
Manzana 6	10
Manzana 9	10
Manzana 15	10
Electrolinera	60
TOTAL	100

Al integrar paneles solares el voltaje de la barra de la electrolinera pasa de 0.885 a 0.963 p.u. ubicándose dentro de los límites de operación. En donde los sistemas de PV tienen un aporte del 13.89%, lo cual beneficia las condiciones operativas del sistema.

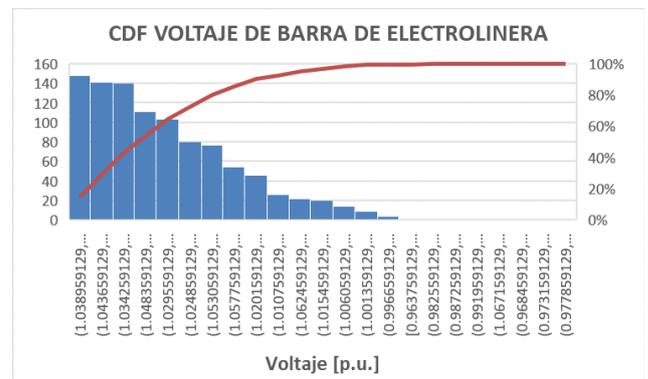


Figura 19: CDF de voltaje de la barra de electrolinera. Caso 2

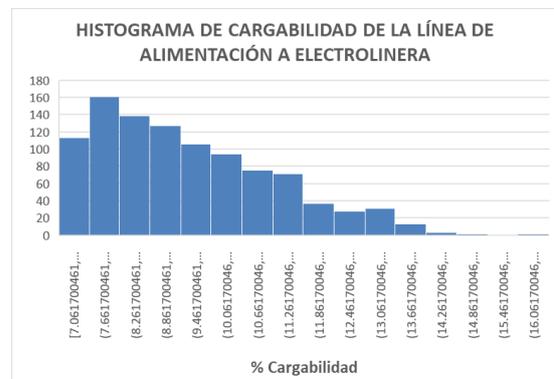


Figura 20: Cargabilidad de la línea de alimentación de la barra de la electrolinera. Caso 2

En la Fig. 19, de acuerdo con la curva CDF, se observa que mínimamente baja del valor de 1 p.u, lo cual es algo aceptable.

En la Fig. 20 se tiene valores que no superan el 16 % en el estado de carga de la línea de alimentación a la barra de electrolinera, teniendo un beneficio importante para la red.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio y análisis de la demanda considerando la integración de nuevas cargas especiales a un sistema eléctrico de potencia es de gran importancia frente a la planificación de los sistemas de distribución, en este sentido como se observó es imprescindible el uso de herramientas de tipo determinísticas como en el estado del arte, o de herramientas complementarias como lo es la simulación de MonteCarlo.

A través del uso de la simulación de MonteCarlo es posible la generación de un número determinado de casos operativos. En este sentido, es importante conocer el modelo en el cual se va aplicar, definiendo las entradas y salidas que se van a obtener, además de definir las herramientas estadísticas o probabilísticas para su modelado.

Se pudo observar que la aleatoriedad que presenta el modelo permite definir aspectos como de los casos críticos del sistema que es de los parámetros más importantes frente al análisis y la posibilidad de definir contingencias frente al mejoramiento de la respuesta del sistema.

Al tener escenarios críticos, se ha considerado la inclusión de la generación de tipo fotovoltaica en el sistema, de forma que permite mitigar los efectos de la inclusión de los vehículos eléctricos en la barra de la electrolinera, tal como se observó en los resultados obtenidos, fue de gran beneficio para la red, de manera que se ha mejorado la respuesta del voltaje del sistema.

Es importante que en el país se desarrolle una normativa y una regulación frente al análisis de la demanda de vehículos eléctricos en el sistema, con la posibilidad de definir aspectos característicos para la evaluación de su impacto en la red eléctrica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] «Los Sistemas Inteligentes de Transporte y sus Efectos en la Movilidad Urbana e Interurbana,» Scripta Nova, vol. 6, nº 170, pp. 741-798, 2004.
- [2] A. V. Uyaguari Guachisaca, «Análisis del requerimiento operativo y legal para los vehículos eléctricos en el Distrito Metropolitano de Quito, DMQ,» Quito, 2020.
- [3] A. V. Penados Ríos y D. Zuluaga Ocampo, «Implementación de un Sistema de Simulación para la Estimación del Impacto de los Vehículos Eléctricos sobre el Sistema Eléctrico en la Ciudad de Pereira,» Pereira, 2020.
- [4] J. López, J. Rider y J. Contreras, «Electric Distribution Network Planning Under Uncertainty,» 2020.
- [5] R. N. Anderson, R. Ghafurian y H. Garavi, «Smart Grid The Future of the Electric Energy System,» 2010.
- [6] L. I. Sánchez Loor y V. E. Calle García, «Estimación de parámetros de planificación y curva de carga de vehículos eléctricos en base a mediciones,» CIER, 2017.
- [7] R. Rifaat, «On Composite Load Modeling for Voltage Stability and Under Voltage Load Shedding,» Proceedings of IEE PES General Meeting, pp. 1603-1610, 2004.
- [8] S. Pareek, A. Sujil y S. Ratra, «Electric Vehicle Charging Station Challenges and Opportunities: A Future Perspective,» International Conference on Emerging Trends in Communication, Control and Computing, 2020.
- [9] A. Santos, N. McGuckin, Y. Nakamoto, D. Gray y S. Liss, «Summary of travel trends: 2009 national household travel survey,» Tech. Rep. , 2011.
- [10] S. Divyapriya y R. Vijayakumar, «Design of residential plugin electric vehicle charging station with time of use tariff and iot technology,» 2018 International Conference on Soft-computing and Network Security (ICSNS), pp. 1-5, 2018.
- [11] A. S. Varghese, P. Thomas y S. Varghese, «An efficient voltage control strategy for fast charging of plug-in electric vehicle,» 2017 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT), pp. 1-4, 2017.
- [12] C. Chan y K. Chau, «Modern electric vehicle technology,» Oxford (England): Oxford University Press, 2001.
- [13] J. Gil Aguirre, S. Pérez Londoño y J. Mora Flórez, «Análisis de los modelos de carga propuestos para los vehículos eléctricos,» 2017.
- [14] M. El Chehaly, O. Saadeh, C. Martínez y G. Joos, «Advantages and applications of vehicle to grid

mode of operation in plug-in hybrid electric vehicles.» IEEE Electrical Power and Energy Conference, 2009.

- [15] Y. Zhang, P. Rousseaux, I. Wehenkel y M. Pavella, «SIME: A Comprehensive Approach to Fast Transient Stability Assessment,» Proceedings of IEE-Japan, Power and Energy '96, pp. 177-182, 1996.
- [16] A. Selim, M. Abdel-Akher y M. Aly, «Plug-in hybrid electric vehicles aggregation and real-time active power control simulation analysis in distribution systems,» IEEE Power Systems Conference (MEPCON). Eighteenth International Middle East, pp. 723-728, 2016.
- [17] M. De Freige, «Design and simulation of a fast-charging station for plug-in hybrid electric vehicle(PHEV) batteries,» 2011.
- [18] S. E. Siavichay Morocho, «Modelado de Estaciones de Carga Rápida para Vehículos Eléctricos y sus Efectos en un Sistema de Distribución de Energía Eléctrica,» Cuenca, 2017.
- [19] L. A. Quizhpe Conde, «Diseño eléctrico de un sistema de recarga rápida (electrolinera) para baterías de vehículos eléctricos,» Loja, 2018.
- [20] O. D. Chacón Herrera , «Análisis del Impacto de la Carga de Vehículos Eléctrico en Transformadore de Distribución,» Quito, 2021.
- [21] J. A. Pumashunta Pumashunta, «Propuesta de Implementación de una estación de carga para baterías eléctricas vehiculares,» Latacunga, 2021.
- [22] L. I. Sánchez Loor, «Modelo para la Proyección de Vehículos Eléctricos Particulares en el Ecuador y sus Requerimientos de Demanda, utilizando patrones de crecimiento logístico y simulación de MonteCarlo,» Quito, 2022.
- [23] L. L. Chiza y J. C. Cepeda, «Predicción del Margen de Estabilidad de Corredores de Transmisión Aplicando Criterios de Minería de datos y Algoritmos de Machine Learning,» Revista Técnica "energía", vol. 18, n° 1, pp. 37-47, 2021.
- [24] J. Riofrio, M. Chamba y J. Cepeda, «Evaluación Probabilística y Gestión del Riesgo de la Cargabilidad de la Redpor laPuesta en Servicio del Metro de Quito considerando el Movimiento Estocástico de los Trenes Eléctricos,» Revista Técnica "energía", pp. 1-11, 2019.



**Julio Lascano Vásquez.-** nació en la provincia de Tungurahua el 20 de enero de 1986. Cursó sus estudios de Ingeniería mecánica en la Universidad Técnica de Ambato, realizó estudios de Posgrado en la Universidad Técnica de Ambato y Universidad Técnica de Cotopaxi.

Se desempeña como profesional en la empresa VEHICENTRO VEHICULOS Y CAMIONES CENTRO SIERRA S.A.



**Roberth Saraguro Ramirez.-** nació en la provincia de Loja el 18 de enero de 1982. Cursó sus estudios de Ingeniería Eléctrica en la Escuela Politécnica Nacional. Realizó estudios de Posgrado en la Escuela Politécnica Nacional y Universidad Nacional de Rosario

Argentina. Se desempeña como profesional en el área de operación en tiempo real del sistema eléctrico Quito.



**Carlos Quinatoa.-** Ingeniero en Sistemas Eléctricos de Potencia de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Máster en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira y Aspirante a Doctor en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica de la

Universidad Central de Venezuela, estudios realizado mediante la obtención de la beca Alemana DAAD, miembro activo del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE, investigador junior de la IEEE, consejero de la Rama Estudiantil IEEE-UTC, coordinador de la Maestría en Electricidad Mención Sistemas Eléctricos de Potencia de la UTC, docente investigador de ingeniería en electricidad y maestría en electricidad de la UTC.



**Jessy Tapia Palma.-** nació en la provincia de Cotopaxi el 26 de enero de 1985. Cursó sus estudios de Ingeniería en la ESPE, realizó estudios de posgrado en la Universidad de Cotopaxi. Se desempeña como profesional en el IESS



**Luis Chiza.-** nació en Atuntaqui, en diciembre de 1993. Recibió su título de Ingeniero en Electrónica y Control en la Escuela Politécnica Nacional; culminó sus estudios de Máster en Electricidad mención en Redes Eléctricas Inteligentes de la Escuela Politécnica Nacional. Actualmente trabaja en la Subgerencia Nacional de Investigación y Desarrollo en convenio entre CELEC EP-Coca Codo Sinclair y CENACE. Sus campos de investigación son: sistemas de control, Smart Grids, Redes industriales, control de máquinas eléctricas.