



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

MODALIDAD: INFORME DE INVESTIGACIÓN

Título:

Estimación de la Demanda de una Estación de Carga para Vehículos Eléctricos en la Ciudad de Ambato mediante la Aplicación de Métodos Probabilísticos.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de magister en Electricidad
mención sistemas eléctricos de potencia

Autor:

Ing. Julio Santiago Lascano Vásquez

Tutor:

Ing. Roberth Alcides Saraguro Ramírez MSc.

LATACUNGA – ECUADOR

2024

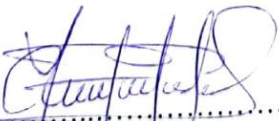
AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “Estimación de la demanda de una estación de carga para vehículos eléctricos en la ciudad de Ambato mediante la aplicación de métodos probabilísticos” presentado por Julio Santiago Lascano Vásquez para optar por el título Magíster en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, Febrero 1, 2024.


.....
MsC. Roberth Alcides Saraguro Ramirez
CC:1714432240

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: “Estimación de la demanda de una estación de carga para vehículos eléctricos en la ciudad de Ambato mediante la aplicación de métodos probabilísticos” ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

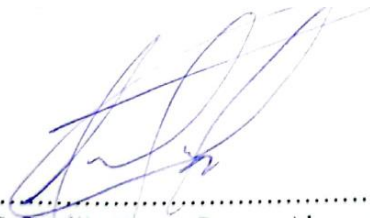
Latacunga, Febrero 1, 2024.



.....
MsC. Quinatoa Caiza Carlos Iván
0503287864
Presidente del tribunal



.....
MsC. Mullo Pallo Mauricio Eduardo
0503755183
Lector 2



.....
MsC. Bonilla Correa Brayan Alexander
0503944225
Lector 3

DEDICATORIA

Dedicado a mis dos hijos y esposa
por su incondicional tiempo
y apoyo brindado para
hacer realidad cada
objetivo propuesto.
Ing. Julio Santiago Lascano Vásquez

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios y a mi familia por siempre estar en mi vida de manera incondicional, sobre todo por la motivación de seguir y poder concluir el presente trabajo de investigación.
Ing. Julio Santiago Lascano Vásquez

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, Febrero 01, 2024.


.....
Ing. Julio Santiago Lascano Vásquez
1804030102

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, Febrero 01, 2024.



.....
Ing. Julio Santiago Lascano Vásquez
1804030102

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación “Estimación de la demanda de una estación de carga para vehículos eléctricos en la ciudad de Ambato mediante la aplicación de métodos probabilísticos” contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, Febrero 01, 2024.



.....
MsC. Quinatoa Caiza Carlos Iván
0503287864

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

Título: ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE UNA ESTACIÓN DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA CIUDAD DE AMBATO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS PROBABILÍSTICOS.

Autor: Ing. Lascano Vásquez Julio Santiago.
Tutor: Saraguro Ramírez Roberth Alcides, MSc.

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: Monte Carlo, probabilísticos, sistemas fotovoltaicos, vehículos eléctricos, electrolinera.

**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
DIRECCION DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

Title: ESTIMATION OF THE DEMAND FOR AN ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION IN THE CITY OF AMBATO THROUGH THE APPLICATION OF PROBABILISTIC METHODS.

Author: Ing. Lascano Vásquez Julio Santiago.

Tutor: Saraguro Ramírez Roberth Alcides, MSc.

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.

KEYWORD: Monte Carlo, probabilistic, photovoltaic systems, electric vehicles, electric vehicle charging station

Yo, **Lcda. Guevara Córdova Lourdes Jacqueline** con cédula de identidad número: 1803690922. Licenciada en Ciencias de la Educación mención Inglés con número de registro de la SENESCYT 1010-08-850045; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **Estimación de la demanda de una estación de carga para vehículos eléctricos en la ciudad de Ambato mediante la aplicación de métodos probabilísticos de Ing. Lascano Vásquez Julio Santiago**, aspirante a magister en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de potencia.

Latacunga, Febrero 01, 2024.


Lcda. Guevara Córdova Lourdes Jacqueline
CC. 1803690922

ÍNDICE

1. INFORMACIÓN GENERAL	3
2. INTRODUCCIÓN	3
3. MATERIALES Y MÉTODOS	4
3.1 Revisión de Literatura	4
3.2 Estado del Arte	7
3.2.1 Características de la Carga	7
3.2.2 Vehículos Eléctricos	7
3.2.3 Sistemas de Estaciones de Carga para Vehículos Eléctricos	8
3.3 Fundamentación Metodológica	10
3.3.1 Perfiles de Carga de Vehículos Eléctricos	10
3.3.2 Modelo con distribución de probabilidad	11
3.3.3 Condiciones iniciales de Simulación	12
3.3.4 Estimación de Demanda en Vehículos Eléctricos	17
3.3.5 Creación de Perfiles de Carga	18
3.3.6 Estimación de la demanda.....	19
3.3.7 Estimación de la demanda en electrolineras	20
3.3 Simulación de Monte Carlo.....	20
3.4.1 Implementación de la Simulación de Monte Carlo.....	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1 Ubicación de la Electrolinera	27
4.1 Perfiles de Carga de Vehículos Eléctricos	28
4.2 Estudio de la Demanda: Perfil de Carga	30
4.4 SIMULACIÓN DE MONTE CARLO: Caso 1 - Demanda del Jueves	32

4.5 SIMULACIÓN DE MONTE CARLO: Caso 2 - Integración de Sistemas Fotovoltaicos	35
4.6 Discusión de Resultados	37
5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	38
BIBLIOGRAFÍA.....	40

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:	Estimación de la Demanda de una Estación de Carga para Vehículos Eléctricos en la Ciudad de Ambato mediante la Aplicación de Métodos Probabilísticos.
Línea de Investigación:	Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental
Proyecto de investigación asociado:	No Aplica
Grupo de investigación:	No Aplica
Red Nacional o Internacional:	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE

2. 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.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta sección constituye el núcleo metodológico esencial que guiará el desarrollo y análisis del presente proyecto de titulación. En esta etapa, se abordarán y explicarán los principios y conceptos fundamentales que sustentan la metodología seleccionada para alcanzar los objetivos de la investigación. Uno de los enfoques cruciales que se explorará con profundidad es el método de Monte Carlo, reconocido por su capacidad para modelar sistemas complejos y realizar estimaciones probabilísticas. Este método, basado en la generación de múltiples simulaciones aleatorias, ofrece una herramienta poderosa para abordar la incertidumbre inherente en la estimación de la demanda de estaciones de carga para vehículos eléctricos. Se destacará la aplicación específica de este método en el contexto de la movilidad eléctrica en la ciudad de Ambato, proporcionando así una base sólida para las futuras fases de modelado y análisis.

3.1 Revisión de Literatura

A partir de la década de los años 90 surge la idea de lo Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT), que promueve una alternativa sostenible frente a los problemas que se generan por la creciente demanda de movilidad, que en mayor parte se da en las zonas urbanas e interurbanas. Esta idea viene de la mano un extenso proceso de innovación a lo largo de la historia, el cual

inicia a partir de la década de los años 40, teniendo como base el desarrollo de las telecomunicaciones [8].

En este sentido, se han desarrollado varios estudios a lo largo de los años, los cuales sirven como referencia para el desarrollo de este trabajo de titulación.

Comenzando por [9], se centra en el desarrollo de un modelo de gestión energética para una estación de recarga de vehículos eléctricos (VE), incorporando un enfoque de microrred residencial interconectado con una red de distribución. El modelo incluye componentes clave como generación solar fotovoltaica y almacenamiento de baterías con capacidad bidireccional. Además, se consideran modelos realistas de perfil de carga y consumo de energía para una flota de taxis eléctricos. La metodología emplea un análisis estadístico-probabilístico de perfiles de radiación en Quito, utilizando simulaciones quasi-dinámicas para evaluar el rendimiento de las estaciones de carga en diversos escenarios y momentos del día.

El estudio descrito en [10] se centra en evaluar los posibles impactos de la integración masiva de vehículos eléctricos en la red eléctrica, considerando la probabilidad de un aumento exponencial en su adopción futura. La investigación se enfoca en las necesidades de desarrollo de las redes de distribución para gestionar eficientemente las nuevas cargas de vehículos eléctricos, resaltando la importancia de tener en cuenta las limitaciones técnicas de la infraestructura existente. La conclusión principal subraya la necesidad de implementar métodos de gestión de la red para optimizar los parámetros, especialmente ante la previsión de una alta penetración de vehículos eléctricos en la red de distribución.

Considerando una integración masiva de vehículos eléctricos a la red de distribución, en el estudio desarrollado en [11] se centra en la relación entre el aumento de carga en la red de distribución y la calidad del suministro eléctrico. Utilizando simulaciones basadas en la variabilidad de tamaños de vehículos eléctricos, emplea el método de Monte Carlo para evaluar la confiabilidad de la red. Los resultados incluyen el análisis de índices de confiabilidad en cada punto de carga, permitiendo examinar la influencia de la integración de vehículos eléctricos en la red de distribución sobre dichos índices.

En [4] se realizó el análisis de la inclusión de vehículos eléctricos en la red eléctrica considerando como metodología base al uso de simulaciones de Monte Carlo. De forma que se puedan solventar las posibles contingencias y escenarios frente a los diferentes perfiles de carga de los vehículos eléctricos, además de considerar la capacidad de las redes de distribución de

enfrentar la constante variación de carga del sistema. Como herramientas de simulación emplean a OpenDSS y al entorno de simulación de Matlab.

En [12] se propone el desarrollo de un algoritmo para la programación del consumo de energía de tipo residencial en base al modelo de un cargador de vehículos eléctricos, cuyo objetivo es el de minimizar el costo total de la demanda de energía en base a un ciclo de carga en un escenario de tarifación en tiempo real. Con relación al tiempo disponible del proceso de carga, dentro de los escenarios de simulación, a la conducta del conductor se lo modela a través de variables aleatorias. Se emplea dentro del análisis de resultados el uso de herramientas estadísticas, de forma que se logra evaluar el ahorro potencial considerando la aplicación del algoritmo.

El estudio abordado en [13] se centra en la integración gradual de vehículos eléctricos en electrolinerías, proponiendo un enfoque para predecir la demanda de energía de estos vehículos. Utiliza la simulación de Monte Carlo en su metodología, construyendo un modelo de distribución de probabilidad que considera leyes de viaje y características de carga para prever la demanda de energía cuando los vehículos se conectan a la red. El análisis abarca aspectos como el inicio de la carga, duración, estado inicial de carga (SOC), kilometraje diario y modo de carga. Los resultados se basan en curvas de carga específicas para cada tipo de vehículo, superpuestas para obtener una curva total de demanda de carga. Esta curva se compara con la carga original de la red, evaluando así el impacto de los vehículos eléctricos en la demanda total.

Teniendo en cuenta la concepción del trabajo propuesto en función del uso de la metodología de simulaciones de Monte Carlo, en la literatura se ha encontrado diversos trabajos relacionados con la integración de vehículos eléctricos a la red eléctrica en función de la demanda de energía. En [14] aborda la variabilidad en el acceso de vehículos eléctricos a la red, evaluando su impacto en la estabilidad del suministro eléctrico. Utiliza la simulación de Monte Carlo para prever la carga de diversos vehículos, considerando distintas capacidades de batería y modos de carga. El análisis de los resultados se centra en los efectos de la integración de vehículos eléctricos en la red, considerando diversos escenarios generados de manera aleatoria.

Bajo el mismo criterio de analizar el efecto sobre la red eléctrica, en [15] se propone un método de previsión de la demanda de energía eléctrica de los vehículos eléctricos. En relación con la metodología que plantea, inicia con el uso del denominado modelo de Bass para la predicción del número de vehículos eléctricos, en cuanto a la simulación de Monte Carlo se usa para el

cálculo de la carga de los vehículos eléctricos. Dentro de los resultados obtenidos, se considera distintos tipos de vehículos eléctricos, de forma que se analiza la característica de la carga basada en parámetros tales como del periodo de carga, hora de inicio, kilometraje diario, modo de carga y la potencia de carga. Finalmente, realiza una superposición para la obtención de la curva de carga total, de forma que se logra la previsión de la carga de los vehículos eléctricos.

3.2 Estado del Arte

3.2.1 Características de la Carga

La dinámica de las cargas en las redes eléctricas es un aspecto vital para analizar la integración exitosa de vehículos eléctricos en el sistema. Este análisis se centra en comprender los cambios de carga que introducen estos vehículos cuando se incorporan al alimentador de distribución.

Es imperativo considerar que las cargas, en su generalidad, son elementos multifacéticos que no solo consumen, sino que también pueden generar o controlar potencia activa y/o reactiva. Además, presentan sensibilidad frente a variaciones transitorias, dinámicas o de estado estable [16]. Este panorama complejo resalta la necesidad de una comprensión detallada de las características y comportamientos específicos de las cargas dentro de la red eléctrica.

Analizar la carga desde la perspectiva de los vehículos eléctricos implica explorar cómo estos influyen en la demanda, considerando tanto la variabilidad en sus patrones de carga como su impacto en la calidad de la energía suministrada. La introducción de vehículos eléctricos agrega una capa adicional de complejidad, ya que sus patrones de carga pueden variar significativamente según la hora del día, el tipo de carga y otros factores contextuales.

3.2.2 Vehículos Eléctricos

En términos generales, un vehículo eléctrico (VE) se define por utilizar un motor eléctrico como su principal elemento de propulsión [17]. Su creciente presencia en el mercado se debe, en gran medida, a su potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la dependencia de combustibles fósiles. La característica central de estos vehículos radica en el reemplazo del combustible convencional, como la gasolina, por un motor eléctrico alimentado por baterías recargables. El rendimiento y funcionamiento de los VE se ven influenciados por la tecnología de sus baterías y sus avanzados sistemas de control y gestión.

Los tipos de vehículos eléctricos se caracterizan por el tipo de tecnología que emplean dentro de su estructura, en este sentido se detallan los principales tipos que se encuentran en el mercado actual a nivel mundial [18]:

- ***Vehículos eléctricos de Batería (BEV)***: son vehículos que emplean al 100% energía eléctrica. Emplean grandes baterías, para disponer de una autonomía aceptable. Alcanza entre 160 y 250 km de autonomía con una sola carga, aunque algunos fabricantes ofrecen un mayor valor, son los vehículos sobre los cuales se centrara el presente estudio.
- ***Vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV)***: tienen como propulsión a un motor de combustión interna convencional y un motor eléctrico, el cual se carga por una fuente de energía eléctrica de forma externa a través de enchufe. Pueden almacenar suficiente energía eléctrica de la red, de manera que se reduce de forma significativa el consumo de combustible en condiciones normales de conducción.

Es importante conocer los tipos de vehículos eléctricos disponibles en el mercado automotriz, en el sentido de poder considerar las características idóneas para la modelación de las cargas en el sistema eléctrico, sin considerar aquellos tipos (vehículos no enchufables) que no tienen una interacción directa con la red.

3.2.3 Sistemas de Estaciones de Carga para Vehículos Eléctricos

La evolución de la movilidad eléctrica ha llevado a un énfasis significativo en el desarrollo de sistemas avanzados de estaciones de carga para vehículos eléctricos (VE). Estas estaciones no solo constituyen puntos esenciales para la recarga, sino que también desempeñan un papel crucial en la conformación de la experiencia del usuario y en la viabilidad a largo plazo de la adopción masiva de vehículos eléctricos.

Las características técnicas de estas estaciones son fundamentales para garantizar una carga eficiente y rápida. Los sistemas de conversión de energía de alto voltaje y corriente, especialmente diseñados para la carga rápida, no solo aceleran el proceso de recarga, sino que también responden a las necesidades de usuarios que buscan soluciones prácticas y accesibles. La implementación de tecnologías inteligentes, como sistemas de gestión de energía, contribuye

a optimizar la distribución de energía, minimizando los tiempos de espera y mejorando la eficiencia operativa.

Además, la capacidad de estas estaciones para gestionar la demanda simultánea de múltiples cargas o vehículos conectados es esencial en entornos de alta densidad de vehículos eléctricos. La coordinación eficaz de la carga es un factor determinante para evitar congestiones y garantizar un flujo constante de usuarios. La ubicación estratégica también es un elemento clave. La planificación de estaciones de carga en áreas urbanas, zonas de alto tráfico y rutas de viaje populares es esencial para brindar accesibilidad y comodidad a los usuarios [19]. Adicionalmente, la integración de estaciones de carga en estacionamientos de centros comerciales, empresas y otras áreas de interés mejora la conveniencia y fomenta una mayor adopción de vehículos eléctricos.

La infraestructura de carga para vehículos eléctricos abarca diversos tipos de estaciones, cada una con características y funciones específicas. Exploraremos detalladamente tres categorías principales [20]:

- **Estaciones de Carga Residencial:** Este tipo de estación desempeña un papel crucial al reducir significativamente la carga en la red de distribución. Al operar con una menor extracción de corriente de la red, minimiza el impacto de la demanda de energía adicional durante las horas pico. Dado que la recarga de vehículos eléctricos en entornos residenciales tiende a ocurrir mayormente durante las horas nocturnas.
- **Estaciones de Carga de Estacionamiento:** Estos sistemas capitalizan el tiempo de estacionamiento disponible para los usuarios, potencialmente reduciendo la carga en estaciones públicas y la red eléctrica en general. Considerando que los vehículos pasan en promedio entre 4 a 8 horas estacionados en lugares como lugares de trabajo, restaurantes y centros comerciales, su impacto en la carga eléctrica también es significativo.
- **Estaciones de Carga Públicas:** Diseñadas para satisfacer la necesidad de carga rápida, estas estaciones adoptan diversas topologías y configuraciones. Se emplean convertidores estáticos AC-DC y DC-DC, conectados mediante un Bus DC capacitivo. Este tipo de estaciones es el objetivo principal de la presente investigación debido a su importancia en el panorama de carga rápida y su potencial impacto en la red eléctrica. El análisis detallado de estas estaciones proporcionará una comprensión más completa de su funcionamiento y su contribución al ecosistema de movilidad eléctrica.

3.3 Fundamentación Metodológica

La sección de Fundamentación Metodológica constituye el núcleo metodológico esencial que guiará el desarrollo y análisis de este trabajo de investigación. En esta etapa, se abordarán y explicarán los principios y conceptos fundamentales que sustentan la metodología seleccionada para alcanzar los objetivos de la investigación. Uno de los enfoques cruciales que se explorará con profundidad es el método de Monte Carlo, reconocido por su capacidad para modelar sistemas complejos y realizar estimaciones probabilísticas. Este método, basado en la generación de múltiples simulaciones aleatorias, ofrece una herramienta poderosa para abordar la incertidumbre inherente en la estimación de la demanda de estaciones de carga para vehículos eléctricos. Se destacará la aplicación específica de este método en el contexto de la movilidad eléctrica en la ciudad de Ambato, proporcionando así una base sólida para las futuras fases de modelado y análisis.

Asimismo, en esta sección se explora diversos aspectos, como la definición de variables clave, la caracterización de usuarios y cargas, y la selección de parámetros críticos. La base metodológica no solo respalda teóricamente la investigación, sino que también establece los cimientos para una ejecución coherente de las etapas siguientes. En este contexto, se destaca la relevancia del método de Monte Carlo como una herramienta esencial que impregna toda la estructura metodológica, proporcionando una plataforma sólida para abordar la complejidad y variabilidad inherentes en la estimación de la demanda de estaciones de carga para vehículos eléctricos.

3.3.1 Perfiles de Carga de Vehículos Eléctricos

La norma IEC 61858-1 establece tres categorías de carga en corriente alterna (CA) para vehículos eléctricos, considerando los niveles de voltaje y corriente de carga:

- **Carga Lenta:** Operando a voltajes de 230 V a 400 V y corrientes de 6 A a 8 A, este modo se emplea principalmente en sistemas de carga residenciales y comerciales.
- **Carga Semirápida:** Con voltajes entre 400 V y 500 V y corrientes de 10 A a 32 A, esta modalidad se implementa en sistemas de carga públicos.
- **Carga Rápida:** Utilizando voltajes de 400 V a 1000 V y corrientes de 32 A a 500 A, la carga rápida se despliega en sistemas de carga públicos y semipúblicos.

Aunque la carga lenta y semirápida son actualmente las más comunes, la carga rápida está ganando popularidad. Sin embargo, su contribución a la carga total de vehículos eléctricos aún es limitada. La elección entre estos modos de carga puede depender de la hora del día. Durante las horas pico, cuando la demanda eléctrica es alta, la carga de vehículos eléctricos puede aumentar la demanda. Contrariamente, en las horas valle, cuando la demanda es baja, la carga de vehículos eléctricos puede contribuir a la reducción de la demanda. Es imperativo que los planificadores del sistema de distribución eléctrica consideren estos patrones al diseñar infraestructuras que acomoden eficientemente la carga de vehículos eléctricos [21].

En la literatura se ha encontrado una diversidad de modelos de carga relacionados con los vehículos eléctricos, los cuales se clasifican en: modelos de carga tradicionales, modelos derivados y modelos con incertidumbre aleatoria [22]. En esta investigación se hará uso del modelo de carga derivado con su variación de modelo de distribución de probabilidad ya que es el que mejor características presenta frente a su adaptabilidad al modelo de simulación de Monte Carlo.

3.3.2 Modelo con distribución de probabilidad

Este tipo de modelo no hace referencia directa a las características o composición del vehículo eléctrico, más bien se basa en el uso de una distribución de probabilidad considerando por ejemplo el estado inicial de la carga, o el consumo promedio de potencia del vehículo eléctrico. En general, una función de distribución de probabilidad se la define y caracteriza de la siguiente manera [23]: (i) Definición de la variable aleatoria y el campo de variación. (ii) Determinar las probabilidades a través de la definición de una función de distribución.

La aplicación del modelo con distribución de probabilidad ofrece diversas formas de describir la variación de la corriente de carga en el tiempo. Una de estas aplicaciones consiste en definir una función de distribución de probabilidad para la corriente de carga en distintos estados de carga, como, por ejemplo, establecer una función de distribución normal para el estado de carga del 50%. Otra modalidad de aplicación implica definir una función de distribución de probabilidad para la potencia de carga, la cual se deriva de la corriente de carga y el voltaje de la batería.

Este modelo presenta ventajas notables, destacándose por su alta flexibilidad al permitir describir la variación de la corriente de carga de diversas maneras en el tiempo. Sin embargo,

su implementación puede ser compleja, ya que requiere la definición precisa de una función de distribución de probabilidad adecuada.

El ámbito de aplicaciones del modelo con distribución de probabilidad es extenso, abarcando desde la planificación de la infraestructura de carga hasta la optimización de la carga de vehículos eléctricos y estudios de estabilidad en sistemas de distribución eléctrica. En este contexto, el modelo con distribución de probabilidad se presenta como una herramienta avanzada, más precisa que los modelos tradicionales, aunque con la complejidad inherente a su naturaleza avanzada y la necesidad de información detallada para su aplicación efectiva.

Estos modelos se sustentan en diversas técnicas, entre las cuales se encuentra la Simulación Monte Carlo. Esta técnica genera datos aleatorios a partir de una distribución de probabilidad, alimentando así el modelo de carga de vehículos eléctricos. Además, se emplean modelos probabilísticos basados en ecuaciones probabilísticas y modelos de aprendizaje automático que utilizan técnicas avanzadas para predecir la carga de vehículos eléctricos. La elección de la técnica adecuada depende de la aplicación específica y de los requisitos de información del contexto de estudio

3.3.3 Condiciones iniciales de Simulación

Para abordar la simulación de Monte Carlo en relación con la demanda de vehículos eléctricos, es crucial tomar como referencia las características específicas de los vehículos disponibles en el mercado. En este contexto, se ha recopilado información sobre parámetros eléctricos clave que se detallan en la Tabla 1

Tabla 1: Distribución de probabilidad de vehículos eléctricos por marca

Marca	Potencia 12ctive [kW]	Capacidad [kWh]	Autonomía [km]	KWh/km	Tipo de Batería
Renault Zoe	65	22	160	0.14	Li-Ion
Renault Kangoo	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

En estos datos se refleja la diversidad de marcas y modelos de vehículos eléctricos que actualmente circulan en ciudades como Loja, Guayaquil y Cuenca. La introducción progresiva de vehículos eléctricos en estas áreas ha impulsado la necesidad de regular y fomentar la

movilidad eléctrica en el país. La Tabla 1 presenta una variedad de características, como potencia, capacidad, autonomía y tipo de batería, que son esenciales para representar la heterogeneidad del parque vehicular eléctrico en el contexto de la simulación de Monte Carlo. Estos datos proporcionan una base sólida para la generación de escenarios realistas que reflejen la diversidad de vehículos eléctricos que podrían participar en el proceso de carga.

Para llevar a cabo la modelación en el paquete computacional DIGSILENT PowerFactory, se consideraron detalladamente las características tanto de los vehículos eléctricos como de las estaciones de carga. Además, se incorporaron sistemas de generación fotovoltaicos con el propósito de suplir parte de la demanda de la electrolinera. El dimensionamiento de esta infraestructura se basó en las características específicas de las estaciones de carga rápida, la demanda máxima de los vehículos y una proyección plausible de la demanda futura.

El modelo del sistema de distribución se visualiza en la Figura 1.a, donde se modeló el alimentador primario del sistema, abastecido desde la subestación HUACHI. La subestación se modeló como una red equivalente, y a través de un transformador de distribución, se ajustan los voltajes para la alimentación efectiva de la red residencial.

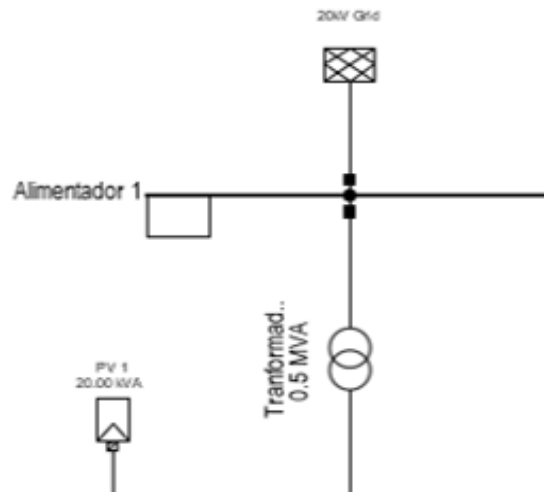


Figura 1.a Alimentador equivalente de distribución

Para abastecer esta demanda se modeló la subestación como una red equivalente, cuyos parámetros se detallan en la Tabla 2, el cual posteriormente pasa a una fase de transformación de voltaje a través del transformador de distribución de manera que se tiene los voltajes adecuados para la consecuente alimentación a la red residencial.

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			

Las características del punto de alimentación del equivalente de barra Ambato se muestra en la Tabla 2, y las características del transformador de distribución se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Características de transformador de distribución

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

En el modelo del sistema de distribución, como se observa en la Figura 1.b, se ha incorporado un sistema de generación de energía renovable de tipo fotovoltaico. Este sistema está estratégicamente conectado a las barras de los clientes residenciales dentro del sistema de distribución. La implementación de esta fuente de energía renovable no solo enfatiza la sostenibilidad, sino que también aborda la necesidad de diversificación en la matriz energética. Este enfoque integral proporciona una visión más completa y realista de los posibles escenarios operativos. Al considerar la generación fotovoltaica distribuida, se evalúan no solo los efectos de las estaciones de carga para vehículos eléctricos en la red eléctrica, sino también cómo la generación distribuida influye en la estabilidad y la capacidad de carga de la infraestructura existente.

La inclusión del sistema fotovoltaico no solo representa una contribución significativa a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también destaca la importancia de integrar fuentes de energía limpia en el diseño y la planificación de la infraestructura eléctrica. Este enfoque no solo se centra en la demanda de carga de vehículos eléctricos, sino que también considera el papel crucial de las energías renovables para lograr una movilidad eléctrica sostenible.

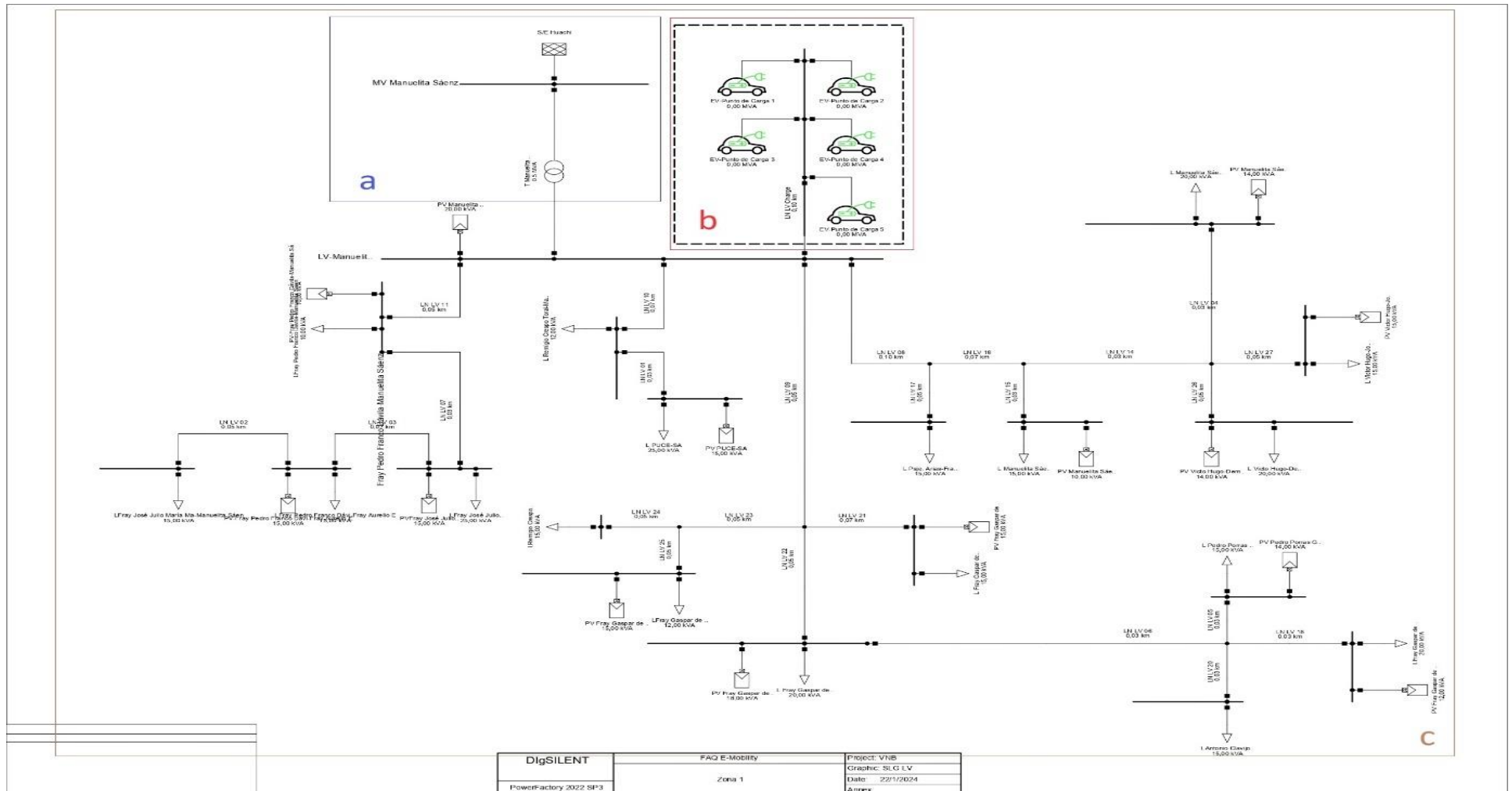


Figura 1. Diagrama de distribución a) Alimentador de distribución, b) Modelos de paneles fotovoltaicos, c) Modelo de estación de carga

El dimensionamiento de la energía total que debe suplir los paneles fotovoltaicos se lo realiza inicialmente a través de la siguiente Ecuación (1):

$$P_{demanda} = \frac{\text{Consumo promedio } (\frac{kWh}{\text{día}})}{\text{Días del mes} * HSP * \text{Pérdidas}} \quad (1)$$

Donde:

HSP: Radiación solar sobre metro cuadrado

En el caso de las pérdidas en los paneles se los relaciona directamente con el inversor y el cableado, para casos prácticos se aplica un factor de seguridad de 20% a la energía de demanda de forma que se pueda suplir las pérdidas de polvo y suciedad, otros aspectos como reflectancia angular y espectral, sombras, entre otros [24].

Para determinar el número de paneles solares se utiliza la Ecuación (2).

$$N_{paneles} = \frac{P_{demanda}}{P_{mpp}} \quad (2)$$

Donde:

P_{mpp} : potencia máxima de panel fotovoltaico

La estación de carga se modela en una de las barras del sistema la cual está conectada a la barra de bajo voltaje del transformador de distribución a un nivel de voltaje de 400 V, de manera que la demanda de carga del sistema se vea reflejada en la misma. En este sentido se tiene el modelo de la Figura 1.c que además muestra la capacidad de vehículos disponibles dentro de la estación como caso práctico. La electrolinera está conectada a la barra de bajo voltaje del transformador de distribución a un valor de 400 V, la cual contiene, además, cinco puntos de carga para vehículos eléctricos.

3.3.4 Estimación de Demanda en Vehículos Eléctricos

Tabla 4: Distribución de probabilidad de vehículos eléctricos por marca

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

En la estimación de la demanda en vehículos eléctricos, se ha dado un enfoque integral considerando múltiples aspectos. Para definir las funciones de probabilidad necesarias en la simulación de Monte Carlo, se han tomado en cuenta las distribuciones de probabilidad asociadas a cada marca de vehículos eléctricos, según un estudio exhaustivo referenciado en [25] [26]. La Tabla 4 ofrece una visión clara de estas distribuciones, indicando las probabilidades asignadas a marcas específicas, como Renault Zoe, Renault Kangoo, Nissan Leaf, BYD E5 y Kia Soul.

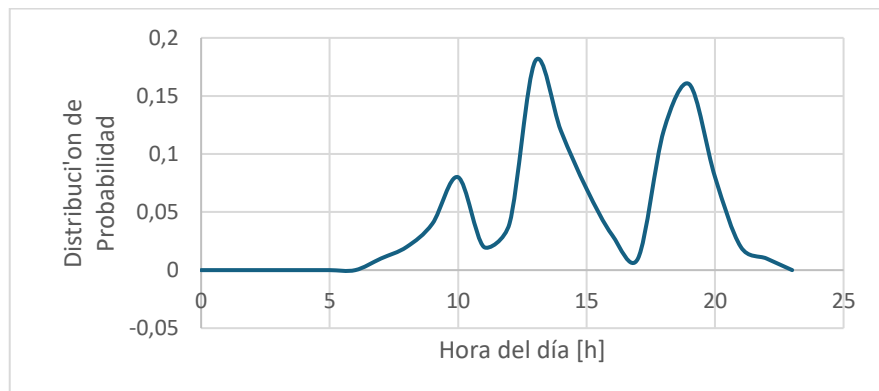


Figura 2: Distribución de probabilidad de inicio de conexión por hora día jueves

Además, se reconoce la importancia de considerar la hora de carga en el proceso de simulación. La determinación de la hora de conexión de los vehículos eléctricos a la red es crucial y se rige por el marco regulatorio específico para vehículos eléctricos establecido por el Ministerio de Energías y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR) y la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR) [27]. Estas entidades proporcionan las directrices necesarias para definir una distribución de probabilidad binomial que refleje la hora inicial de carga. Los detalles específicos de esta distribución se presentan en la Figura 2, proporcionando así una base sólida y normativa para la simulación. Se debe indicar que este ejemplo es para el día Jueves, teniendo la distribución para todos los días de la semana. Este enfoque metodológico garantiza una representación más precisa de la variabilidad en los

patrones de carga de vehículos eléctricos, considerando tanto las preferencias del consumidor en cuanto a las marcas como las restricciones regulatorias en términos de la hora de carga. Con esta combinación de factores, la simulación de Monte Carlo se configura para ofrecer resultados más realistas y aplicables a escenarios del mundo real.

3.3.5 Creación de Perfiles de Carga

La creación de perfiles de carga implica una cuidadosa definición de varios aspectos esenciales para modelar de manera precisa y realista. En este contexto, se establecen los perfiles de carga de los vehículos eléctricos, los puntos de conexión y los valores de potencia media. Es crucial señalar que estos aspectos no solo influyen en la operación eficiente de la electrolinera, sino que también tienen implicaciones en la planificación de la infraestructura de carga eléctrica.

En primer lugar, los perfiles de carga de los vehículos eléctricos se modelan siguiendo una curva de distribución normal. Esta elección se basa en la representación estadística de la variabilidad en la demanda de potencia de estos vehículos. Para definir con precisión esta curva, es necesario especificar los parámetros clave: el valor medio y la desviación estándar. El valor medio se establece como el promedio de la demanda de potencia activa de un vehículo eléctrico, mientras que la desviación estándar se fija en el 40 % de dicho valor medio [28].

La aleatoriedad del modelo se incrementa mediante el uso de distribuciones de probabilidad por vehículo eléctrico y por hora y día. La generación de números aleatorios se rige por la fórmula (3):

$$X_{\{potencia\}} = random.normal(\eta \times Valor\ medio, \text{distribución de probabilidad por vehículo} \times \text{distribución de probabilidad por hora} \times \text{desviación estándar}) \quad (3)$$

Esta ecuación refleja la variabilidad en la demanda de potencia, considerando la posibilidad de integrar uno o dos vehículos al punto de carga (a través de la variable n) o incluso la opción de que ningún vehículo esté conectado. La implementación práctica de esta ecuación se llevará a cabo en la programación de Python.

Este enfoque garantiza una representación precisa de los perfiles de carga, teniendo en cuenta no solo la variabilidad inherente a los vehículos eléctricos, sino también las condiciones cambiantes según la hora y el día. Así, la simulación resultante será una herramienta valiosa

para evaluar y anticipar la demanda de potencia en la electrolinera en escenarios diversos y realistas.

3.3.6 Estimación de la demanda

La estimación de la demanda en electrolineras implica un análisis detallado del horario en que se lleva a cabo el proceso de recarga. En particular, se focaliza en el tiempo y la velocidad del proceso, considerando el tipo de carga rápida, que depende de factores cruciales: el tamaño de la batería en kilovatios-hora (kWh), la potencia del punto de recarga en kilovatios (kW) y la potencia máxima de recarga del vehículo eléctrico.

Es esencial tener en cuenta que, en casos donde el punto de recarga y el vehículo eléctrico presentan diferentes potencias, prevalecerá la menor de las dos. Este principio se basa en la premisa de que la eficiencia del proceso se verá limitada por el componente con menor capacidad.

En referencia a la previsión de cargas, según la regulación CONELEC-004/11 y la referencia [29], establece que la potencia de entrada de cada cargador es de 58 kVA. En el contexto de este proyecto, se definen cinco puntos de alimentación en la electrolinera, cada uno con un factor de potencia de 0.95, lo que resulta en una potencia activa de 55.1 kW por cargador y una potencia total de los cargadores de 275.5 kW.

Tabla 5. Previsión de carga de la electrolinera considerando cargadores y servicios auxiliares

Estación de Carga V=400 V	Voltaje [V]	Consumo [kW]	Potencia [kW]	Factor de Potencia	Corriente Nominal [A]	Factor de demanda	kVA máximo
Cargador 1	400	55.1	55.1	0.95	83.72	1.00	58
Cargador 2	400	55.1	55.1	0.95	83.72	1.00	58
Cargador 3	400	55.1	55.1	0.95	83.72	1.00	58
Cargador 4	400	55.1	55.1	0.95	83.72	1.00	58
Cargador 5	400	55.1	55.1	0.95	83.72	1.00	58
			275.5		418.6	TOTAL	290
Demanda máxima [kVA]							174
Demanda máxima [kW]							165
Carga 220-170 V	Voltaje [V]	Consumo [W]	Cantidad [Unidades]	Potencia [W]	Corriente Nominal [A]	Factor de demanda	kVA máximo
Iluminación exterior	220	100	15	1500	7.18	0.70	1.11
Tomacorriente	220	200	10	2000	9.57	0.35	0.74
Motor	220	2238	1	2238	10.71	1.00	2.36
				5738	16.75	TOTAL	4.20
Demanda máxima [kVA]							4.20

Demanda máxima [kVA]		3.39
Potencia Total Demandada [kVA]	178.20	
Potencia Total Demandada [kW]	169.29	

Es importante subrayar que esta estimación debe contemplar también los consumos auxiliares que se sumarían a la potencia total mencionada. Este enfoque detallado garantiza una evaluación precisa de la demanda, considerando no solo los aspectos fundamentales del proceso de carga rápida, sino también los elementos adicionales que contribuyen al consumo eléctrico total de la electrolinera.

3.3.7 Estimación de la demanda en electrolineras

La estimación de la demanda en electrolineras implica un análisis detallado del horario en el cual se efectúa el proceso de recarga. La velocidad de carga del sistema de baterías está intrínsecamente ligada al tipo de proceso y sus características, siendo nuestra referencia el proceso de carga rápida. Este último se rige por tres factores fundamentales: el tamaño de la batería en kilovatios-hora (kWh), la potencia del punto de recarga en kilovatios (kW) y la potencia máxima de recarga del vehículo eléctrico.

Es crucial destacar que, en situaciones donde el punto de recarga y el vehículo eléctrico presentan potencias distintas, la menor de las dos prevalecerá. Esta consideración es acorde con el principio de eficiencia, donde la capacidad del eslabón más débil determina el rendimiento del conjunto.

Sin embargo, para una estimación más completa y precisa, se debe considerar la incorporación de consumos auxiliares que se añadirían a la potencia total, elementos clave en la evaluación integral de la demanda eléctrica en la electrolinera. Estos consumos adicionales pueden incluir sistemas de climatización, iluminación y otros dispositivos esenciales para el correcto funcionamiento de la estación de carga. La comprensión detallada de estos factores contribuirá significativamente a la planificación y diseño eficientes de la infraestructura de carga eléctrica.

3.3 Simulación de Monte Carlo

El nombre "Monte Carlo" proviene del famoso distrito de Mónaco, conocido por sus casinos. Curiosamente, este método nació al final de la Segunda Guerra Mundial de la mano de físicos

que trabajaban en el proyecto de la bomba atómica. El desarrollo de la primera computadora digital, ENIAC (1946), permitió a Jon Von Neuman aplicar el MCM en 1947 para resolver problemas de termonucleares y fisión. En 1949, Metropolis y Ulam publicaron el primer artículo sobre el método. Desde entonces, el MCM ha evolucionado al ritmo de los avances informáticos y hoy en día se aplica en áreas tan diversas como ingeniería, finanzas, física, biología, medicina, ciencias sociales.

La terminología de Monte Carlo se la relaciona con la modelación y simulación de sistemas a través de un ambiente aleatorio, teniendo en cuenta la estocasticidad de los escenarios y la recopilación de elementos estadísticos relevantes previo a su evaluación [30]. En general, la simulación de Monte Carlo se trata de una técnica basada en la generación de datos de forma aleatoria, mediante el uso de funciones de distribución conocidas, cuya aplicación puede ser usada en el análisis de escenarios para realizar estimaciones y toma de decisiones a partir de variables con incertidumbre [31].

La principal ventaja del algoritmo de Monte Carlo radica en su capacidad para generar resultados robustos en entornos complejos y dinámicos. A diferencia de los métodos determinísticos tradicionales, el enfoque estocástico de Monte Carlo permite tener en cuenta una amplia gama de variables y factores de incertidumbre [32]. En el contexto de la estimación de la demanda de carga para vehículos eléctricos, este enfoque se revela esencial para capturar la variabilidad en el comportamiento del usuario, las tendencias de adopción de vehículos eléctricos y los cambios en las condiciones de carga.

El proceso de Monte Carlo implica la generación de múltiples conjuntos de datos de entrada basados en distribuciones de probabilidad, reflejando la diversidad de posibles escenarios futuros. Estos conjuntos de datos se utilizan para realizar simulaciones repetidas del sistema, calculando así una amplia gama de resultados posibles [33]. Al analizar los resultados acumulados, se obtiene una comprensión más completa de la distribución de la demanda, permitiendo a los planificadores tomar decisiones informadas y anticipar posibles escenarios futuros.

La información resultante de estas simulaciones sirve como indicador del nivel de criticidad de ciertos escenarios dentro de la red de distribución y, específicamente, del comportamiento de la estación de carga. La importancia de la metodología de simulación de Monte Carlo radica en su capacidad para generar diversos escenarios operativos, ampliando así el análisis de los resultados y considerando la criticidad basada en parámetros de entrada variables hacia un

modelo específico. Un ejemplo de esto es la parametrización variable y aleatoria de las características de operación sobre el modelo de la red eléctrica de distribución.

Un flujograma simplificado del MCM (ver Figura 3). Los pasos principales son:

1. Definir el modelo computacional y las distribuciones de probabilidad de las variables aleatorias. El modelo debe representar fielmente el sistema que se estudia para que las simulaciones garanticen resultados confiables.
2. Para cada iteración, se muestrea aleatoriamente el estado del modelo y se evalúa numéricamente su comportamiento. Esto significa que, en cada ronda, se generan valores al azar para las variables que influyen en el sistema y se observa cómo reacciona el modelo con esos valores.
3. Finalmente, se procesan los resultados de cada iteración para obtener estadísticas del modelo y su comportamiento esperado. El objetivo es entender cómo se comporta el sistema en promedio y cuáles son las posibles variaciones que podemos esperar.

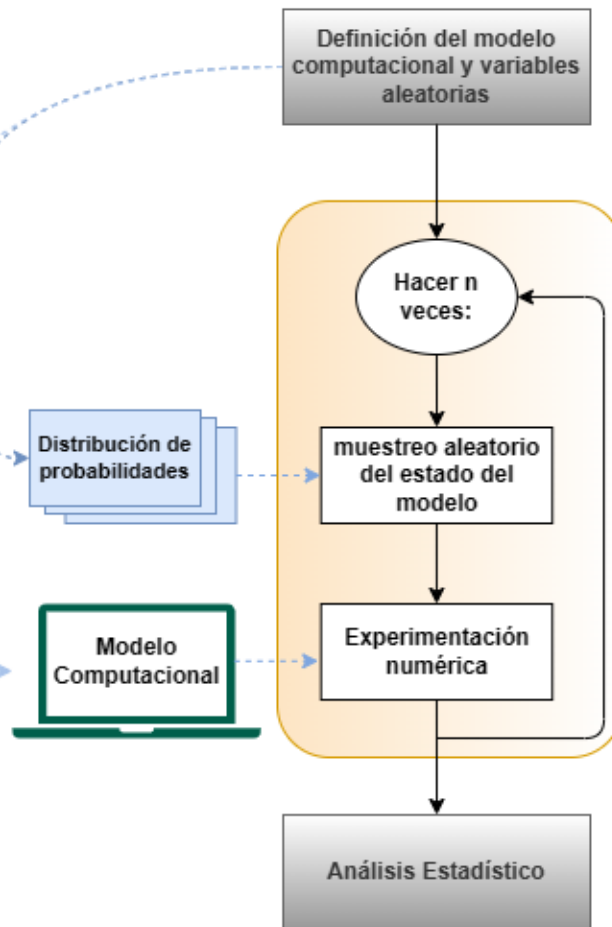


Figura 3: Diagrama de flujo del MCM

El algoritmo Monte Carlo, en el contexto de modelos con incertidumbre aleatoria de carga de vehículos eléctricos, se caracteriza por su capacidad para generar muestras basadas en modelos probabilísticos, utilizando datos de entrada derivados de curvas de distribución. Este método produce resultados a través de la ejecución de experimentos, ofreciendo una visión detallada y representativa de la variabilidad inherente a la carga de vehículos eléctricos.

La carga de vehículos eléctricos constituye un fenómeno intrincado sujeto a diversas fuentes de incertidumbre. Estas incertidumbres incluyen la variabilidad en la demanda de energía de los vehículos, la cual está condicionada por factores como el modelo del vehículo, el estilo de conducción y las condiciones específicas de cada viaje. Además, la variabilidad en la generación de energía renovable, proveniente de fuentes como la energía solar o eólica, añade complejidad al escenario al ser intermitente y afectar la disponibilidad de energía en la red.

Asimismo, la capacidad de la red eléctrica, sujeta a limitaciones específicas de infraestructura, contribuye a la incertidumbre en el proceso de carga.

Los modelos tradicionales de carga, al no abordar estas incertidumbres, ofrecen resultados que carecen de precisión y exactitud. En este contexto, entra en juego el Método de Monte Carlo (MCM), destacando por su capacidad para proporcionar resultados más realistas al incorporar la aleatoriedad asociada a las incertidumbres mencionadas. Este método no solo busca una mayor precisión, sino que también permite realizar análisis de escenarios al simular diversas situaciones con distintas distribuciones de probabilidad. Así, es posible examinar cómo se comporta la carga en cada caso particular, ofreciendo una visión más completa y detallada.

Además, el MCM se presenta como una herramienta valiosa en la identificación de riesgos asociados a la carga de vehículos eléctricos. Facilita la detección de posibles problemas, como sobrecargas en la red eléctrica o picos de demanda, brindando la oportunidad de tomar medidas preventivas y mitigar los impactos negativos en el sistema eléctrico.

En resumen, el enfoque del MCM en la incorporación de la aleatoriedad y su capacidad para analizar escenarios específicos hacen de él una herramienta esencial en la gestión de la incertidumbre en el proceso de carga de vehículos eléctricos.

3.4.1 Implementación de la Simulación de Monte Carlo

La simulación de Monte Carlo propuesta sigue un diagrama de flujo detallado en la Figura , adaptado específicamente para cumplir con los objetivos de este estudio. A continuación, se explica cada paso de acuerdo con la secuencia establecida:

1. **Cálculo de condiciones iniciales:** Este paso implica definir las condiciones operativas iniciales del sistema en el modelo de PowerFactory. Se consideran aspectos cruciales como las potencias de las cargas conectadas en las barras, la saturación del sistema y los voltajes de las barras.
2. **Generación de curvas de distribución normal:** Utilizando el entorno de programación de Python, se crean las curvas de distribución normal. Estas curvas son esenciales para generar números aleatorios que introducirán variaciones en las condiciones del sistema, especialmente en la carga y demanda de los vehículos eléctricos.

- Modificación de los perfiles de carga de los vehículos eléctricos (EV):** Se ajustan los perfiles de carga de los vehículos eléctricos con base en las curvas de distribución normal y la generación de valores aleatorios. En otras palabras, se actualizan los valores de demanda de los EV de acuerdo con los datos generados por las curvas de distribución.

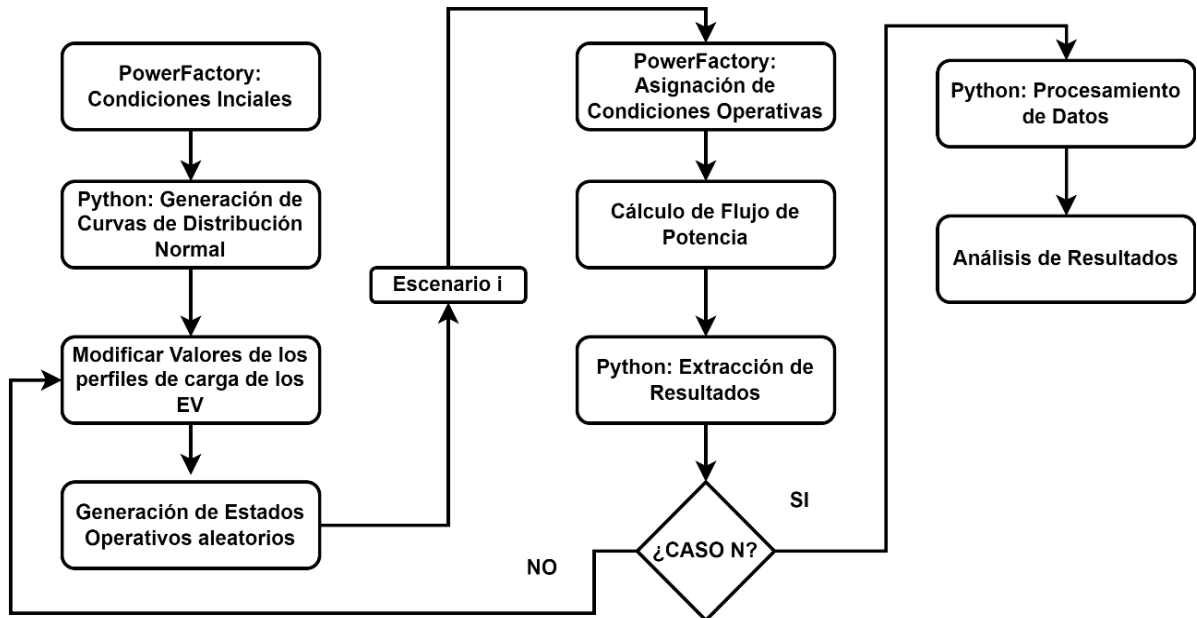


Figura 4: Diagrama de flujo de simulación de Monte Carlo propuesta

- Generación de estados operativos aleatorios:** En cada iteración, se crea un caso operativo aleatorio basado en los perfiles de carga generados para los vehículos eléctricos.
- Asignación de condiciones operativas:** Los valores actualizados de la demanda de los vehículos eléctricos, derivados de las condiciones operativas generadas aleatoriamente, se incorporan al modelo de PowerFactory en cada iteración.
- Cálculo de flujo de potencia:** Una vez actualizados los valores de demanda de los vehículos eléctricos según las condiciones operativas aleatorias, se lleva a cabo el cálculo del flujo de potencia para cada iteración.
- Extracción de resultados:** Para cada iteración y su correspondiente cálculo de flujo de potencia, se extraen los resultados. Esto incluye la demanda de potencia de los vehículos eléctricos, voltajes de las barras y potencias y voltajes de las barras de la electrolinera, entre otros.

8. **Procesamiento de datos:** Después de completar la simulación con las N iteraciones, se procede a tabular la información utilizando herramientas gráficas y tablas para facilitar el análisis.
9. **Análisis de resultados:** Con los resultados procesados, se realiza un análisis exhaustivo de cada variable y caso generado. Este análisis permite extraer conclusiones alineadas con los objetivos planteados en el trabajo de titulación.

La metodología de simulación de Monte Carlo implementada se elige como un enfoque robusto y completo para evaluar la demanda en electrolineras, considerando la variabilidad inherente en la operación de vehículos eléctricos y sus perfiles de carga. La combinación de herramientas como PowerFactory y Python ha permitido modelar escenarios realistas, introduciendo elementos estocásticos para capturar de manera precisa la incertidumbre asociada con la adopción de vehículos eléctricos.

Este enfoque no solo proporciona una visión detallada de las condiciones operativas y el impacto en la red eléctrica, sino que también ofrece una plataforma versátil para realizar análisis de sensibilidad y evaluación de riesgos. Los resultados obtenidos no solo son cruciales para la toma de decisiones en la planificación de infraestructuras de carga, sino que también contribuyen a la comprensión más profunda de la transición hacia la movilidad eléctrica y su integración eficiente en el sistema eléctrico existente.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La sección de Resultados y Discusión presenta un análisis detallado de los hallazgos obtenidos a través de la investigación, centrándose en tres aspectos fundamentales. En primer lugar, se abordan los Perfiles de Carga de Vehículos Eléctricos, donde se examinan las variaciones en las demandas de potencia y su comportamiento en diferentes escenarios operativos. A continuación, se profundiza en el Estudio de la Demanda, explorando de manera específica el Perfil de Carga que revela la carga en la electrolinera durante diversas condiciones. Finalmente, se presentan los resultados derivados de la simulación de Monte Carlo, ofreciendo una visión integral de la incertidumbre asociada con la adopción de vehículos eléctricos y su impacto en la red eléctrica. Este análisis exhaustivo proporcionará una comprensión integral de la dinámica de carga, permitiendo una evaluación informada y estratégica para la planificación y gestión eficientes de infraestructuras de carga eléctrica.

4.1 Ubicación de la Electrolinera



Figura 5: Ubicación geográfica estimada de la electrolinera

La elección de la ubicación de la electrolinera es un proceso crítico que afecta la eficiencia y la accesibilidad del servicio. En este contexto, la estimación se basó en la ubicación inicial del alimentador Miñarica de 13.8 kV en la subestación Huachi, ubicada en el sector La Magdalena de la ciudad de Ambato, como se ilustra en la Figura 5. La modelación de este sector se llevó a cabo utilizando el entorno de PowerFactory, considerando variables como la capacidad del alimentador, la distancia a las áreas de mayor demanda y la infraestructura eléctrica existente.

Se realizaron análisis detallados de carga y se evaluaron los patrones de consumo eléctrico en el área circundante, permitiendo identificar puntos óptimos para la ubicación de la electrolinera. Además, se tuvieron en cuenta factores como la disponibilidad de espacio, restricciones urbanísticas y la conveniencia para los usuarios de vehículos eléctricos.

Este enfoque integral no solo considera la capacidad técnica del sistema eléctrico, sino que también busca maximizar la conveniencia para los usuarios y minimizar el impacto ambiental. La modelación en PowerFactory facilita la simulación de diferentes escenarios y condiciones operativas, lo que permite una toma de decisiones informada para la ubicación estratégica de la electrolinera en Ambato.

4.1 Perfiles de Carga de Vehículos Eléctricos

Para la evaluación de los Perfiles de Carga de Vehículos Eléctricos, se ha implementado una estrategia de ingreso progresivo de los vehículos a la electrolinera, tomando en cuenta sus condiciones iniciales de potencia activa según la Tabla 6. En este contexto, la Tabla proporciona información clave sobre la ubicación de cada vehículo eléctrico en un punto de carga específico de la electrolinera, junto con sus respectivas potencias activas iniciales.

Esta aproximación permite un análisis detallado del comportamiento del sistema eléctrico en estado estacionario a medida que los vehículos son integrados gradualmente a la carga. La Figura presenta el perfil de voltaje de la barra de la electrolinera, proporcionando una visualización clara de la progresiva caída de voltaje al integrar los vehículos.

Tabla 6: Ubicación de vehículos eléctricos 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

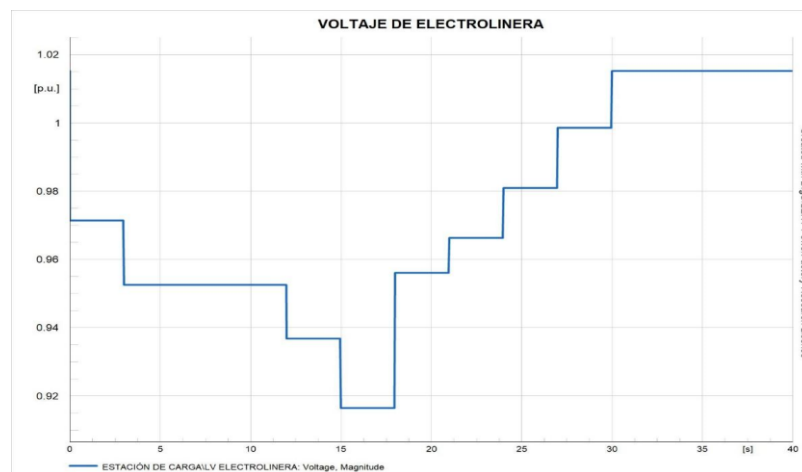


Figura 6: Perfil de voltaje de barra de electrolinera-Condición Inicial

Se destaca un punto crítico donde el voltaje incumple el límite inferior permisible (0.92 p.u) [34], seguido de una fase de estabilización hasta alcanzar su valor en estado estable. Este enfoque de ingreso progresivo y la observación detallada de las variaciones de voltaje son esenciales para comprender cómo la integración de vehículos eléctricos afecta la estabilidad del

sistema eléctrico. Además, brinda información valiosa para identificar posibles puntos críticos y tomar medidas preventivas para garantizar un suministro eléctrico confiable y eficiente durante la operación de la electrolinera.

Para complementar el análisis, se presenta en la Figura 7 la frecuencia de la barra de la electrolinera durante la integración de los vehículos. La frecuencia eléctrica del sistema refleja valores transitorios, aunque no significativos, evidenciando picos más altos que coinciden con la conexión de la carga acumulada de mayor valor. La observación de la frecuencia eléctrica es crucial para evaluar la estabilidad dinámica del sistema durante cambios en la carga.

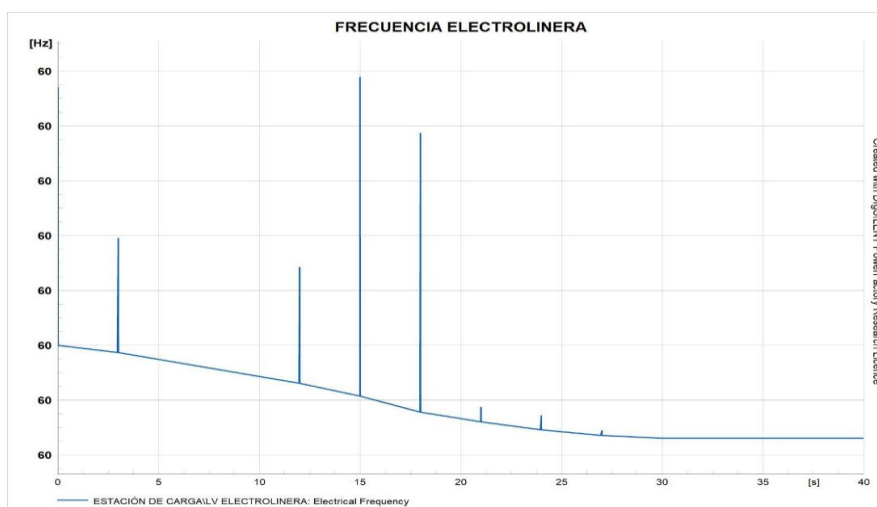


Figura 7: Frecuencia de la barra de la electrolinera-Condiciónes iniciales

Finalmente, la Figura 8 expone la cargabilidad del alimentador de la electrolinera, revelando un nivel elevado del 87 % al conectar el quinto vehículo. Este valor resalta la necesidad de evaluar

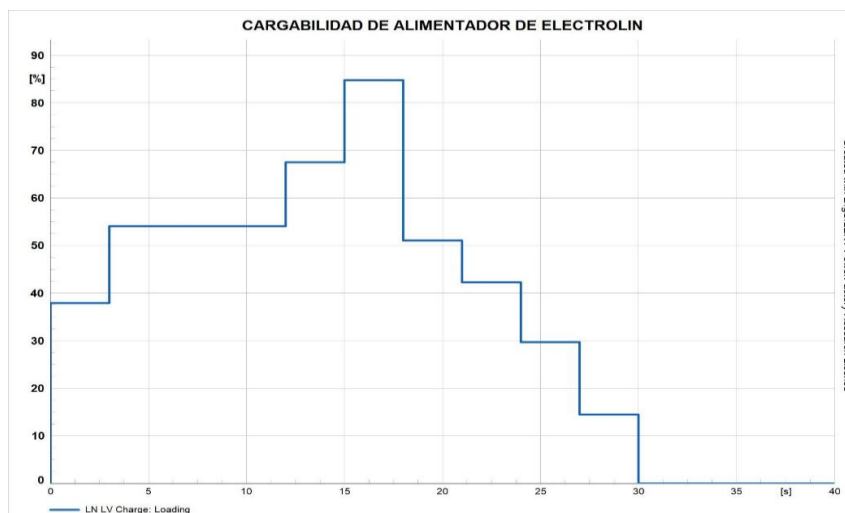


Figura 8: Cargabilidad del alimentador de la electrolinera-Condiciónes iniciales

la capacidad de carga de la línea para garantizar una operación eficiente y segura de la electrolinera. La cargabilidad de la línea, que representa la proporción de la carga máxima admitida, se convierte en un indicador crítico para evitar situaciones de sobrecarga y pérdida de eficiencia en el suministro eléctrico. Estos resultados preliminares ofrecen un panorama detallado de la respuesta del sistema eléctrico ante la carga progresiva de vehículos eléctricos, brindando información valiosa para la planificación y gestión de infraestructuras de carga eléctrica.

4.2 Estudio de la Demanda: Perfil de Carga

En el marco del estudio de la demanda de la electrolinera, se ha llevado a cabo una cuidadosa creación de perfiles de carga. Este proceso inició con la definición de curvas para los días jueves, viernes y sábado. Se optó por utilizar el vehículo con la demanda media más alta, el BYD E5, cuya potencia media es de 160 kW.

Con el objetivo de ilustrar la carga probabilística, se ha seleccionado un ejemplo específico: la carga del jueves a las 13:00 pm. Esta elección estratégica permite analizar la demanda en un

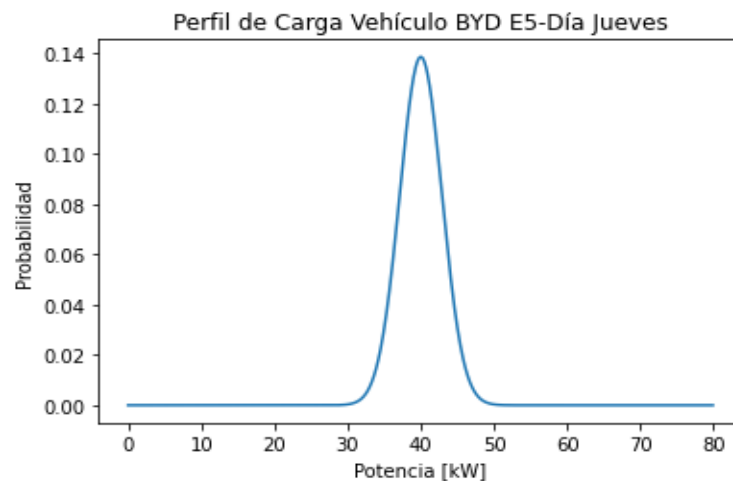


Figura 9: Curva de distribución de probabilidad vehículo BYD E5. Jueves 13:00 pm

momento crucial del día y evaluar cómo se comporta el sistema eléctrico ante la carga de vehículos eléctricos, proporcionando una visión detallada de las condiciones operativas en ese período. Este enfoque facilita la identificación de posibles desafíos y la implementación de estrategias eficientes para satisfacer la demanda de manera efectiva y sostenible.

La Figura 9 presenta la función de distribución de probabilidad de la carga del vehículo BYD E5, ofreciendo una visión detallada de la variabilidad de la carga en diferentes escenarios. Complementando esta información, la Figura 1 exhibe la curva de función de distribución acumulada (CDF), proporcionando una representación gráfica clara de cómo se distribuyen los casos operativos en relación con la carga del vehículo.

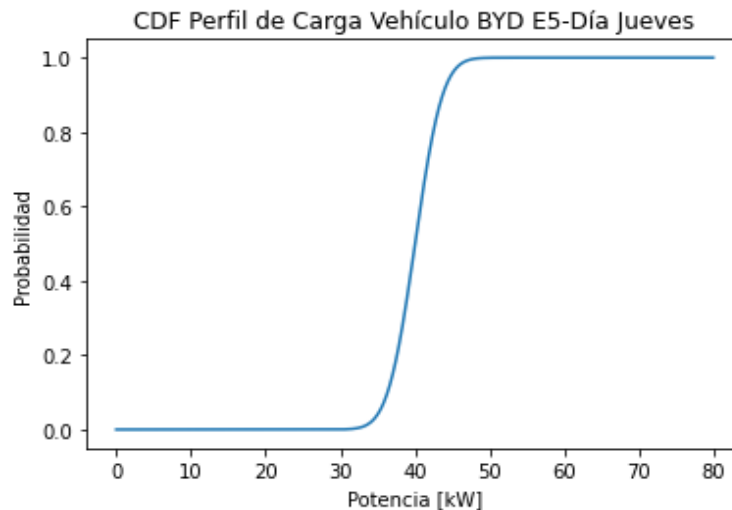


Figura 10: Curva CDF de distribución de probabilidad vehículo BYD E5. Jueves 13:00 pm

Al analizar la Figura 10, se destaca la probabilidad más significativa de obtener valores de carga entre 40 a 80 kW. Esta información resulta esencial para comprender la variabilidad y los posibles escenarios operativos, permitiendo una planificación más precisa y estratégica.

La visualización de la CDF facilita la identificación de rangos de carga más frecuentes, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en la gestión y planificación de la infraestructura de carga eléctrica.

Además, la información obtenida de estas distribuciones de probabilidad se utiliza para generar perfiles de carga específicos en la simulación de Monte Carlo. La generación de casos operativos realistas se basa en estas distribuciones, considerando la variabilidad inherente en la demanda de carga del vehículo BYD E5. Este enfoque probabilístico proporciona una base sólida para la evaluación de la capacidad de la infraestructura eléctrica y contribuye a la toma de decisiones informada en la planificación de estaciones de carga para vehículos eléctricos.

4.4 SIMULACIÓN DE MONTE CARLO: Caso 1 - Demanda del Jueves

Esta sección presenta una evaluación detallada de la simulación de Monte Carlo con 1000 iteraciones, centrándose en la demanda de carga de vehículos eléctricos para el día jueves. La Figura 11 consolida los resultados, ofreciendo información valiosa sobre los voltajes de las

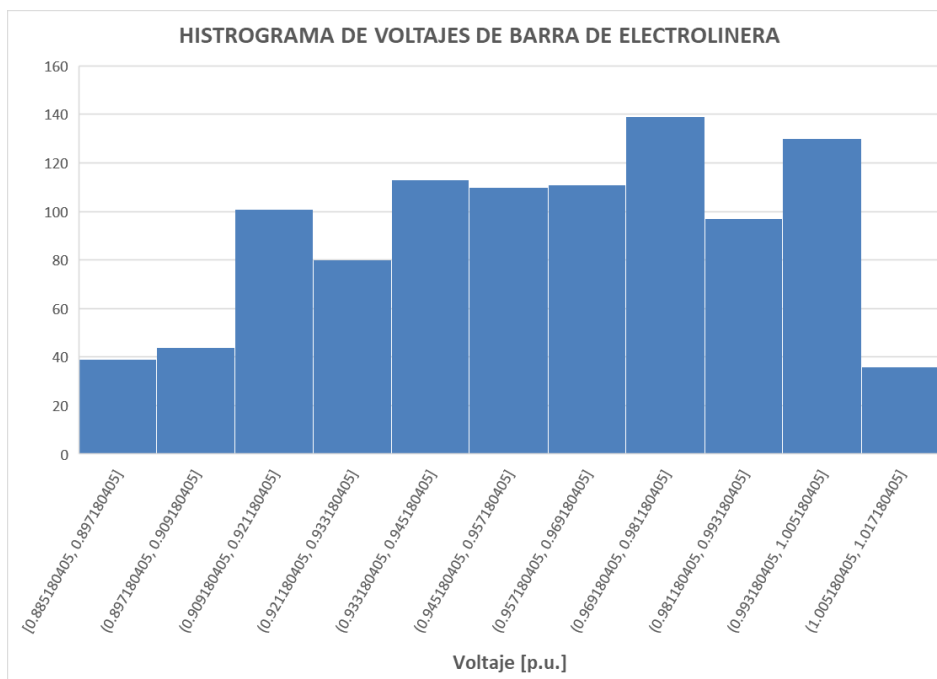


Figura 11: Histograma de voltajes de la barra de la electrolinera. Caso 1

barras, la potencia de los vehículos eléctricos y la cargabilidad del alimentador primario.

El análisis del voltaje de la barra de la electrolinera destaca un caso crítico con un valor de 0.885 p.u., por debajo del límite mínimo aceptable (0.92 p.u.), aunque esta situación es poco frecuente, como se ilustra en la Figura 11. En contraste, las barras de alimentación Ambato y el transformador de distribución mantienen valores más estables, con un mínimo de 1.02 p.u. en ambos casos. Las manzanas que conforman la red eléctrica presentan variaciones, pero en general, los voltajes se mantienen dentro de rangos operativos aceptables.

Al relacionar estos resultados con la simulación de Monte Carlo, se confirma que la electrolinera es la ubicación más vulnerable en términos de voltaje, y los eventos de voltaje por debajo del límite mínimo ocurren principalmente en esta área. Estos datos subrayan la importancia de implementar medidas específicas para garantizar la estabilidad del voltaje en la electrolinera, como la instalación de dispositivos de regulación o ajustes en la infraestructura eléctrica cercana. Este análisis más detallado enriquece la comprensión de los desafíos operativos y resalta la necesidad de soluciones personalizadas para áreas críticas del sistema eléctrico.

En términos generales, el voltaje de la barra se mantiene dentro de los límites operativos en la mayoría de los casos. Complementando este análisis, se ha incorporado un histograma y una función de distribución acumulada (CDF). Ver Figura 1. El histograma refleja la distribución de la cargabilidad, destacando los intervalos más frecuentes y proporcionando una comprensión visual de cómo se distribuyen los niveles de carga. La CDF, por otro lado, ofrece una evaluación acumulativa, mostrando la probabilidad de que la cargabilidad sea igual o menor a un valor específico.

Ambos conjuntos de análisis permiten una comprensión más profunda de la variabilidad y la probabilidad asociada con la potencia activa de los vehículos eléctricos y la cargabilidad de las líneas del sistema. Estos resultados son esenciales para la planificación y gestión efectiva de la infraestructura eléctrica, brindando información valiosa para la toma de decisiones operativas.

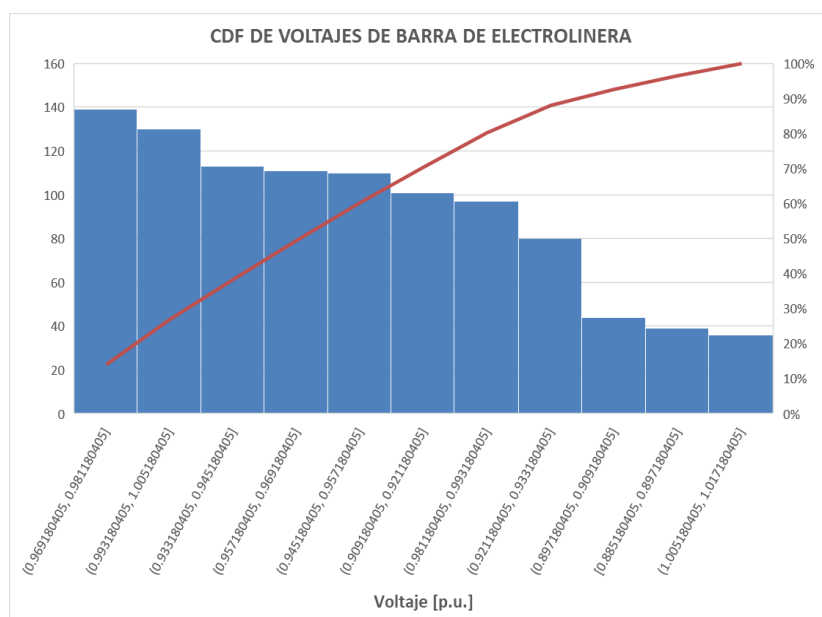


Figura 12: CDF de voltajes de la barra de la electrolinera. Caso 1

Estas figuras evidencian que los escenarios de voltaje por debajo del límite inferior representan menos del 30% de las situaciones simuladas. Es imperativo desarrollar estrategias de mitigación para abordar estos eventos.

Las Figura 13 y 14 proporcionan una perspectiva detallada de la generación de casos consecuentes de la demanda de potencia del vehículo eléctrico seleccionado. Al considerar un rango completo de valores de carga del vehículo (0% a 100%), se obtiene un espectro integral de posibles escenarios. En cuanto a la cargabilidad de la línea que alimenta la electrolinera, se identifican situaciones donde supera el 77% y, en casos excepcionales, alcanza el 135% de carga de la línea. Aunque estas instancias de sobrecarga son poco comunes, resaltan la importancia de monitorear y gestionar de cerca la capacidad de la línea para garantizar una operación eficiente y segura de la electrolinera.

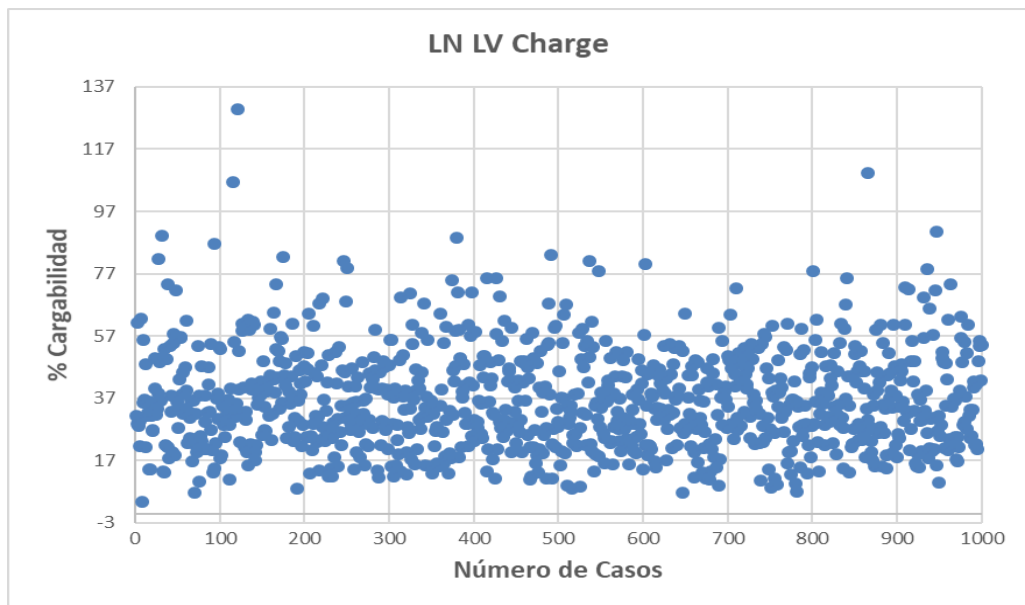


Figura 14: Generación de casos-Potencia activa de vehículo eléctrico en punto de carga 1. Caso

En este contexto, la simulación de Monte Carlo se presenta como una herramienta valiosa para identificar patrones y posibles desafíos en la infraestructura eléctrica ante la carga de vehículos eléctricos. Los resultados obtenidos brindan un panorama integral que respalda la toma de decisiones informadas para optimizar el rendimiento y la confiabilidad de las electrolineras en escenarios del mundo real.

4.5 SIMULACIÓN DE MONTE CARLO: Caso 2 - Integración de Sistemas Fotovoltaicos

En este contexto de abordar la problemática de la sobre carga (35%), se implementó una estrategia integral que involucra la potencialidad de los sistemas fotovoltaicos (PV) para suplir parte del excedente de potencia. La Tabla detalla la ubicación y potencia instalada de los paneles

Tabla 7: 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

solares, diseñados estratégicamente para contrarrestar los efectos de la sobrecarga.

Basado en la comparación de Figura 1 y Figura 15, los voltajes de la electrolinera antes y después de la integración de los sistemas PV, destaca las mejoras significativas logradas en la estabilidad del sistema eléctrico. El voltaje de la barra de la electrolinera, inicialmente en 0.885 p.u., experimenta un aumento sustancial hasta alcanzar 0.963 p.u. tras la integración de los sistemas solares, manteniéndose dentro de los límites operativos aceptables.

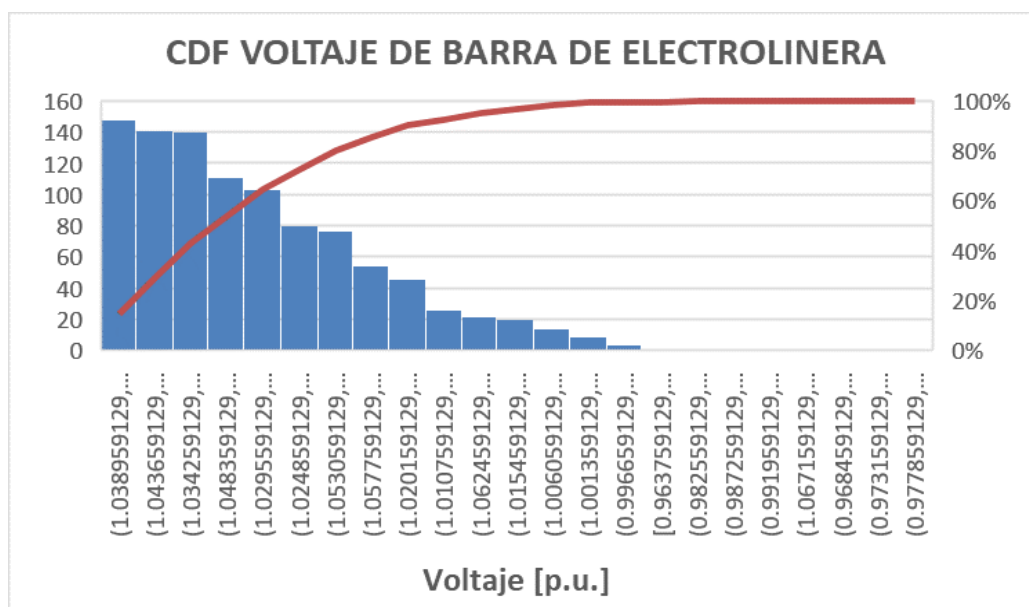


Figura 15: CDF de voltajes de la barra de la electrolinera. Caso 2

La Figura 15 ofrece un análisis complementario al presentar la potencia máxima de los puntos de carga. La contribución de los sistemas PV, evidenciada en este gráfico, es fundamental, representando un 13.89% del total de la potencia máxima (719.513 kW). Este aporte es crucial para optimizar las condiciones operativas del sistema eléctrico y garantizar una operación eficiente y sostenible. La representación gráfica de la Curva de Distribución Acumulada (CDF) en la Figura 15 refuerza la solidez de la estrategia implementada. La mayoría de los casos operativos, según la CDF, mantiene los voltajes dentro de límites aceptables, minimizando las incidencias por debajo del valor de 1 p.u. Esta visualización respalda la efectividad de la integración de sistemas fotovoltaicos para mejorar la estabilidad del sistema eléctrico.

Finalmente, la Figura 1 ilustra la mejora significativa en la cargabilidad de la línea que alimenta la barra de la electrolinera. Los valores, que no superan el 16%, indican un beneficio sustancial para la red eléctrica. En conjunto, esta estrategia de integración de sistemas fotovoltaicos no solo mitiga la sobre carga, sino que también promueve una operación más eficiente y sostenible del sistema eléctrico.

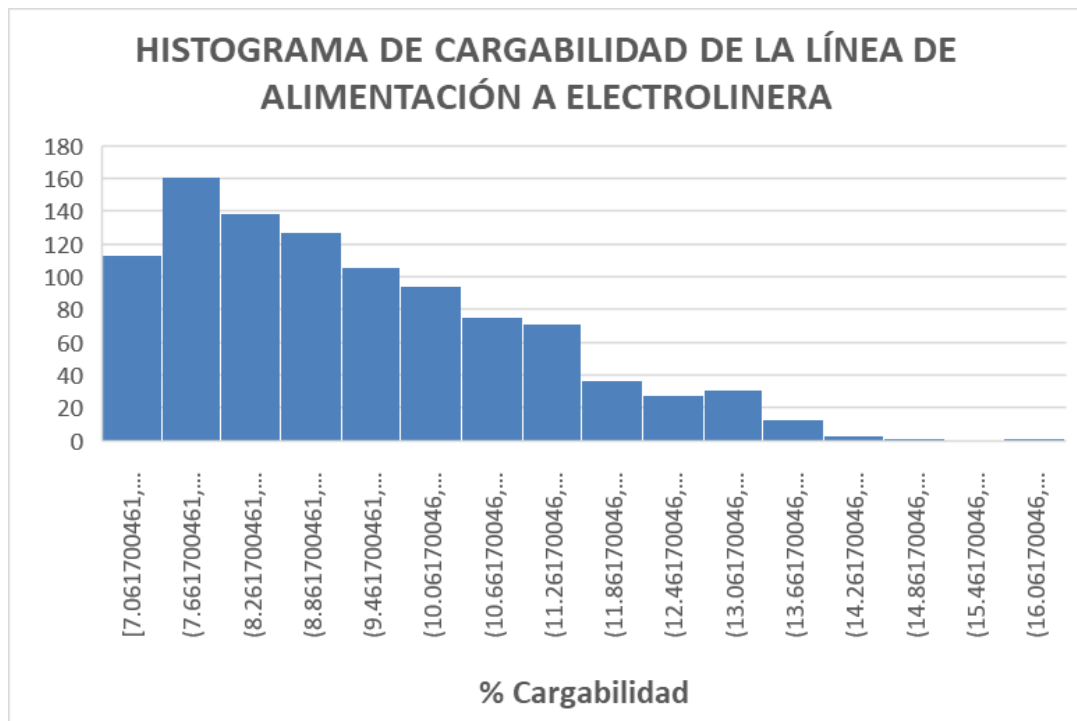


Figura 16 : Cargabilidad de la línea de alimentación de la barra de la electrolinera. Caso 2

4.6 Discusión de Resultados

La discusión de los resultados obtenidos a partir de los casos 1 y 2, que abarcan los perfiles de carga, la simulación de Monte Carlo y la integración de sistemas fotovoltaicos, revela perspectivas valiosas para el diseño y la gestión eficiente de infraestructuras de carga eléctrica.

En el caso 1, centrado en el estudio de la demanda, los perfiles de carga de vehículos eléctricos (EV) proporcionaron una visión detallada de la respuesta del sistema eléctrico ante la inclusión progresiva de estos vehículos. La simulación de Monte Carlo permitió evaluar la variabilidad de los resultados, destacando casos críticos de baja voltaje en la barra de la electrolinera. Este escenario brindó una comprensión profunda de la estabilidad del sistema y la necesidad de estrategias para mitigar situaciones de riesgo.

En el caso 2, la integración de sistemas fotovoltaicos se planteó como una respuesta efectiva a la problemática de la sobre carga. La ubicación estratégica de paneles solares demostró mejoras sustanciales en los voltajes de la electrolinera y la potencia máxima de los puntos de carga. La comparación de resultados, respaldada por la simulación de Monte Carlo, evidenció una significativa mejora en la estabilidad del sistema eléctrico, con voltajes que se mantienen dentro de límites aceptables.

La simulación de Monte Carlo fue esencial en ambos casos para proporcionar una evaluación probabilística de los resultados. Esta metodología permitió identificar situaciones críticas y evaluar la frecuencia de ocurrencia, brindando una perspectiva más completa de la variabilidad del sistema eléctrico ante distintos escenarios de carga y demanda.

La estrategia de ingreso progresivo de los vehículos eléctricos, como se implementó en los perfiles de carga, proporcionó una visión dinámica del comportamiento del sistema en estado estacionario. La inclusión de los sistemas fotovoltaicos, según los resultados de la simulación de Monte Carlo, no solo mitigó los problemas de sobre carga, sino que también ofreció una contribución significativa a la potencia máxima, mejorando las condiciones operativas del sistema.

Además, la simulación Monte Carlo puede considerar aspectos dinámicos, como las variaciones en la demanda de carga y la incertidumbre en el comportamiento de los usuarios de vehículos eléctricos. Esto permite evaluar la robustez del sistema eléctrico ante condiciones cambiantes y proporciona información valiosa para la toma de decisiones en la planificación y gestión de infraestructuras de carga eléctrica.

Es fundamental tener en cuenta la interacción entre la generación solar intermitente y la demanda de carga de los vehículos eléctricos, ya que ambos son variables dinámicas. La simulación Monte Carlo puede ayudar a identificar escenarios en los cuales la generación solar puede satisfacer la demanda de carga de manera efectiva y aquellos en los cuales se requiere respaldo de la red.

La combinación de la simulación Monte Carlo y la integración de sistemas fotovoltaicos proporciona una herramienta poderosa para evaluar la viabilidad, la eficiencia y la resiliencia de un sistema de carga de vehículos eléctricos. Este enfoque holístico permite anticipar desafíos potenciales y diseñar soluciones robustas para el despliegue exitoso de infraestructuras de carga eléctrica en entornos urbanos.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El estudio y análisis de la demanda, especialmente cuando se incorporan nuevas cargas especiales a un sistema eléctrico de potencia, constituyen aspectos cruciales para la planificación de los sistemas de distribución. En este contexto, se destaca la importancia del uso de herramientas determinísticas, como se observa en el estado del arte, y herramientas complementarias como la simulación de Monte Carlo. La aplicación de la simulación de Monte Carlo posibilita la generación de un conjunto específico de casos operativos, requiriendo un conocimiento profundo del modelo, la definición precisa de entradas y salidas, así como la selección adecuada de herramientas estadísticas o probabilísticas para su modelado.

En el estudio de la demanda de electrolíneas, resulta esencial comprender las características de la carga que se conectará, facilitando la adaptación de su comportamiento a la simulación de Monte Carlo. La aleatoriedad inherente al modelo permite la identificación de casos críticos, aspecto crucial para el análisis y la formulación de contingencias para mejorar la respuesta del sistema. Ante la presencia de escenarios críticos, la inclusión de generación fotovoltaica se presenta como una estrategia efectiva para mitigar los efectos de la incorporación de vehículos eléctricos en la barra de la electrolínea, como se evidenció en los resultados obtenidos, destacando su beneficio significativo para la red al mejorar la respuesta del voltaje del sistema.

Se sugiere el desarrollo de una normativa y regulación específica en el país para el análisis de la demanda de vehículos eléctricos en el sistema. Esto permitiría establecer aspectos

característicos para evaluar su impacto en la red eléctrica, contribuyendo a una gestión más eficiente y sostenible de la infraestructura eléctrica. En relación con la simulación de Monte Carlo, se destaca la importancia de desarrollarla basada en modelos de distribución de probabilidad. Es crucial considerar las características de las variables que se tratarán como aleatorias en el sistema, buscando integrar la mayor aleatoriedad posible al modelo para obtener un panorama más completo de posibles escenarios significativos. Además, se hace hincapié en definir un número adecuado de simulaciones que no comprometan el rendimiento ni redunden en los resultados, asegurando la eficacia y relevancia del análisis.

Como trabajo futuro, una de las áreas de interés inmediato podría centrarse en el desarrollo de estrategias de gestión y control avanzadas para electrolineras, considerando la variabilidad y la demanda dinámica asociada con la carga de vehículos eléctricos. Además, la optimización de la ubicación y capacidad de sistemas fotovoltaicos en función de la distribución geográfica y características de la carga puede ser un enfoque clave para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sistema.

Asimismo, la implementación de técnicas avanzadas de inteligencia artificial y aprendizaje automático podría contribuir al desarrollo de modelos predictivos más precisos para la demanda de electrolineras y la generación de sistemas fotovoltaicos. La exploración de nuevos modelos de negocio y esquemas tarifarios adaptados a la realidad de la carga de vehículos eléctricos también representa un área prometedora para investigaciones futuras, con el objetivo de incentivar la adopción y gestión óptima de estos sistemas. Además, la consideración de la interconexión entre múltiples electrolineras y la influencia de flotas de vehículos eléctricos podría proporcionar una visión más holística y completa de la integración de estos sistemas en la red eléctrica. En resumen, el presente estudio sienta las bases para una investigación continua y multidisciplinaria que abordará los desafíos y oportunidades emergentes en el ámbito de la movilidad eléctrica y la generación distribuida.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Los Sistemas Inteligentes de Transporte y sus Efectos en la Movilidad Urbana e Interurbana,» *Scripta Nova*, vol. 6, n° 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] A. V. Uyaguari Guachisaca, «Análisis del requerimiento operativo y legal para los vehículos eléctricos en el Distrito Metropolitano de Quito, DMQ,» B.S. thesis, Quito: UCE, 2020.
- [5] L. A.-W. Ellingsen, B. Singh, y A. H. Strømman, «The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles», *Environ. Res. Lett.*, vol. 11, n.º 5, p. 054010, may 2016, doi: 10.1088/1748-9326/11/5/054010.
- [6] H. Ribberink y E. Entchev, «Electric vehicles — A ‘one-size-fits-all’ solution for emission reduction from transportation?», en *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*, Barcelona, Spain: IEEE, nov. 2013, pp. 1-7. doi: 10.1109/EVS.2013.6914837.
- [7] S. Sirisumrannukul, «Charging Management of Electric Vehicles on Loading Capability of Distribution System Equipment, Voltage Quality, and Energy Loss by Monte Carlo Simulation and Linear Programming», *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 2023, pp. 1-37, abr. 2023, doi: 10.1155/2023/1195648.
- [8] A. D. Hilshey, P. D. H. Hines, P. Rezaei, y J. R. Dowds, «Estimating the Impact of Electric Vehicle Smart Charging on Distribution Transformer Aging», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, n.º 2, pp. 905-913, jun. 2013, doi: 10.1109/TSG.2012.2217385.
- [9] L. A. Paredes y M. Pozo, «Energy Management Model for an Electric Vehicle Charging Station in the Environment of a Microgrid», en *2020 IEEE ANDESCON*, Quito, Ecuador: IEEE, oct. 2020, pp. 1-7. doi: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9272165.
- [10] E. Mancini, M. Longo, W. Yaici, y D. Zaninelli, «Assessment of the Impact of Electric Vehicles on the Design and Effectiveness of Electric Distribution Grid with Distributed Generation», *Applied Sciences*, vol. 10, n.º 15, p. 5125, jul. 2020, doi: 10.3390/app10155125.

- [11] Y. Wang, H. Su, W. Wang, y Y. Zhu, «The impact of electric vehicle charging on grid reliability», *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 199, p. 052033, dic. 2018, doi: 10.1088/1755-1315/199/5/052033.
- [12] M. A. Dávila, C. L. Trujillo, y E. E. Gaona, «Algoritmo de Programación para Gestionar la Demanda de Cargadores de Baterías para Vehículos Eléctricos en un Esquema de Tarificación Variable», *Inf. tecnol.*, vol. 30, n.º 4, pp. 135-146, ago. 2019, doi: 10.4067/S0718-07642019000400135.
- [13] Y. Xing, F. Li, K. Sun, D. Wang, T. Chen, y Z. Zhang, «Multi-type electric vehicle load prediction based on Monte Carlo simulation», *Energy Reports*, vol. 8, pp. 966-972, nov. 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.05.264.
- [14] W. Jia, H. Chen, y X. Liu, «Research on electric vehicle charging load based on the monte Carlo», *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 2450, n.º 1, p. 012002, mar. 2023, doi: 10.1088/1742-6596/2450/1/012002.
- [15] D. Liu, Z. Li, J. Jiang, X. Cheng, y G. Wu, «Electric Vehicle Load Forecast Based on Monte Carlo Algorithm», en *2020 IEEE 9th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC)*, Chongqing, China: IEEE, dic. 2020, pp. 1760-1763. doi: 10.1109/ITAIC49862.2020.9338988.
- [16] R. M. Rifaat, «On composite load modeling for voltage stability and under voltage load shedding», en *IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2004.*, Denver, CO, USA: IEEE, 2004, pp. 1603-1610. doi: 10.1109/PES.2004.1373143.
- [17] H. George-Williams, N. Wade, y R. N. Carpenter, «A probabilistic framework for the techno-economic assessment of smart energy hubs for electric vehicle charging», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 162, p. 112386, jul. 2022, doi: 10.1016/j.rser.2022.112386.
- [18] J. A. Sanguesa, V. Torres-Sanz, P. Garrido, F. J. Martinez, y J. M. Marquez-Barja, «A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges», *Smart Cities*, vol. 4, n.º 1, pp. 372-404, mar. 2021, doi: 10.3390/smartcities4010022.
- [19] S. Divyapriya, Amutha, y R. Vijayakumar, «Design of Residential Plug-in Electric Vehicle Charging Station with Time of Use Tariff and IoT Technology», en *2018 International Conference on Soft-computing and Network Security (ICSNS)*, Coimbatore, India: IEEE, feb. 2018, pp. 1-5. doi: 10.1109/ICSNS.2018.8573637.
- [20] A. S. Varghese, P. Thomas, y S. Varghese, «An efficient voltage control strategy for fast charging of plug-in electric vehicle», en *2017 Innovations in Power and Advanced*

- Computing Technologies (i-PACT)*, Vellore: IEEE, abr. 2017, pp. 1-4. doi: 10.1109/IPACT.2017.8245074.
- [21] Q. Hu, H. Li, y S. Bu, «The Prediction of Electric Vehicles Load Profiles Considering Stochastic Charging and Discharging Behavior and Their Impact Assessment on a Real UK Distribution Network», *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 6458-6465, feb. 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.134.
- [22] R. Li y S. SaeidNahaei, «Optimal operation of energy hubs integrated with electric vehicles, load management, combined heat and power unit and renewable energy sources», *Journal of Energy Storage*, vol. 48, p. 103822, abr. 2022, doi: 10.1016/j.est.2021.103822.
- [23] M. Zhang, J. Zheng, W. Wang, y M. Dai, «Research on static voltage stability based on EV charging station load modeling», en *2011 International Conference on Advanced Power System Automation and Protection*, Beijing, China: IEEE, oct. 2011, pp. 1094-1099. doi: 10.1109/APAP.2011.6180969.
- [24] J. C. Pérez Álvarez, «Guía para el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos conectados y aplicación de la Resolución CREG 030 de 2018 para la inyección de excedentes a la red», 2019, Accedido: 15 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/15377>
- [25] L. S. Loor y V. C. García, «Estimación de parámetros de planificación y curva de carga de vehículos eléctricos en base a mediciones», *CIER*, pp. 1-8, 2017.
- [26] Q. Yan *et al.*, «Many-objective charging optimization for electric vehicles considering demand response and multi-uncertainties based on Markov chain and information gap decision theory», *Sustainable Cities and Society*, vol. 78, p. 103652, mar. 2022, doi: 10.1016/j.scs.2021.103652.
- [27] 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 Monte Carlo.», B.S. thesis, Quito: EPN, 2022., 2022. Accedido: 15 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23435>
- [28] L. Chiza y J. 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.º 1, pp. 37-47, 2021.
- [29] P. Pumashunta, J. Alberto, y A. J. Ramos Jinez, «Propuesta de implementación de una estación de carga para baterías eléctricas vehiculares.», Accedido: 15 de enero de 2024.






[En línea]. Disponible en:
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/31126/2/ESPEL-MAT-0149-P.pdf>

- [30] Y. Lin, L. Chu, J. Hu, Y. Zhang, y Z. Hou, «An Intelligent Energy Management Strategy for Plug-in Hybrid Electric Vehicle Inspired from Monte Carlo Tree Search», en *2022 IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Macau, China: IEEE, oct. 2022, pp. 811-816. doi: 10.1109/ITSC55140.2022.9921954.
- [31] M. Akil, E. Dokur, y R. Bayindir, «Analysis of Electric Vehicle Charging Demand Forecasting Model based on Monte Carlo Simulation and EMD-BO-LSTM», en *2022 10th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid)*, Istanbul, Turkey: IEEE, jun. 2022, pp. 356-362. doi: 10.1109/icSmartGrid55722.2022.9848555.
- [32] C. Zhang, H. Shen, P. Tao, Y. Zhang, y G. Han, «Electric vehicle charging pile capacity planning based on normal distribution Monte Carlo sampling model», *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, vol. 0, n.º 0, feb. 2023, doi: 10.1515/ijeeps-2022-0250.
- [33] E. Veldman y R. A. Verzijlbergh, «Distribution Grid Impacts of Smart Electric Vehicle Charging From Different Perspectives», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 6, n.º 1, pp. 333-342, ene. 2015, doi: 10.1109/TSG.2014.2355494.
- [34] A. RENOVABLES, «REGULACION No. ARCERNNR-002/20" Calidad del servicio de distribucion y comercializacion de energia electrica"». Quito, 2020.

ANEXO
ARTÍCULO
ACADÉMICO

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. Lascano¹  R. Saraguro¹  C. Quinatoa¹  J. Tapia¹  L. Chiza²

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

E-mail: julyosantoyo@gmail.com; rsaraguro@gmail.com; carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec; jessy.tapia42591@utc.edu.ec

²Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

E-mail: 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
- α : 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.

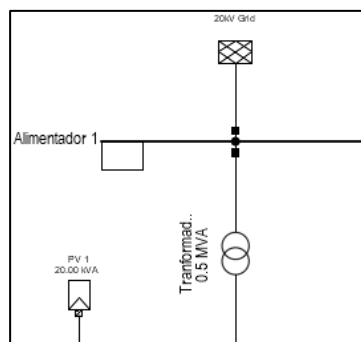


Figura 1: Alimentador de distribución

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
Pérdidas 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.

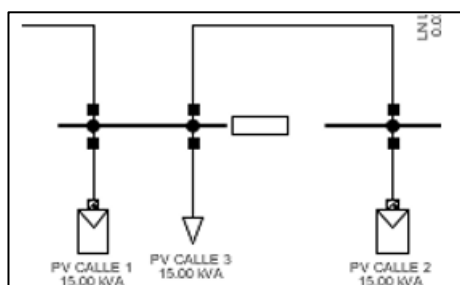


Figura 2: Modelos de Paneles fotovoltaicos en PowerFactory

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.

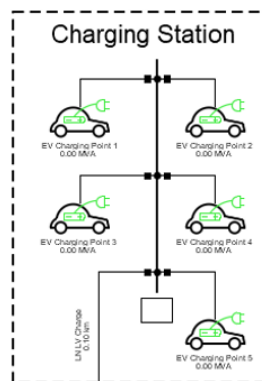


Figura 3: Modelo de Estación de carga en PowerFactory

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	
		Demanda máxima [kVA]	174	
		Demanda máxima [kW]	165	
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
		Demanda máxima [kVA]	174	
		Demanda máxima [kW]	165	
		Potencia Total Demandada [kVA]	178.20	
		Potencia Total Demandada [kW]	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.

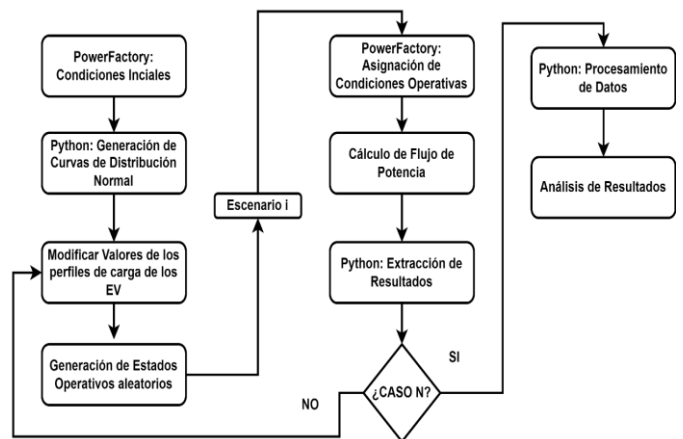


Figura 4: Diagrama de flujo de Simulación de Montecarlo Propuesta

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).

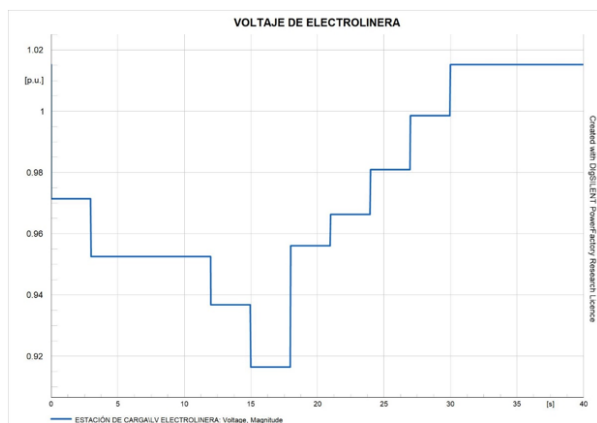


Figura 5: Perfil de voltaje de barra de electrolinera-Condición Inicial

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

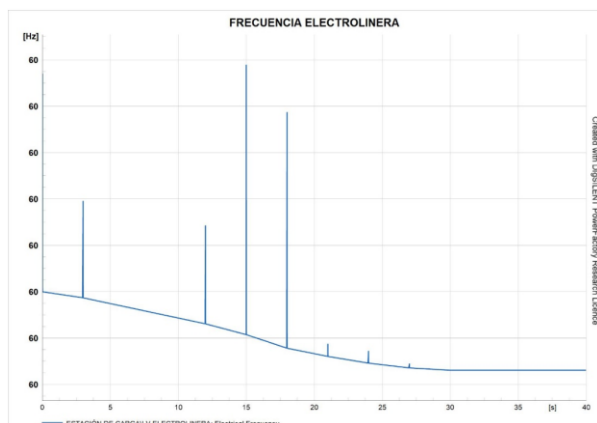


Figura 6: Frecuencia de la barra de la electrolinera-Condición Inicial

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.

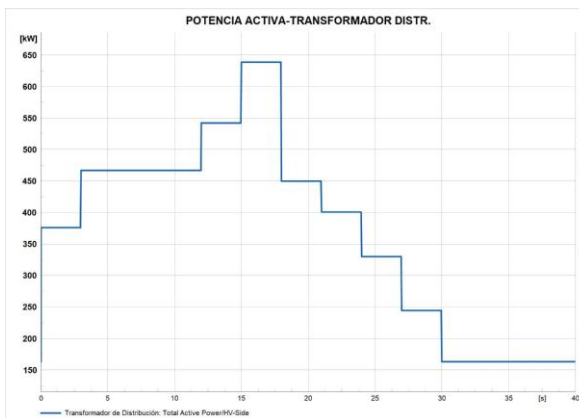


Figura 7: Potencia activa del transformador de distribución-Condición Inicial

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.

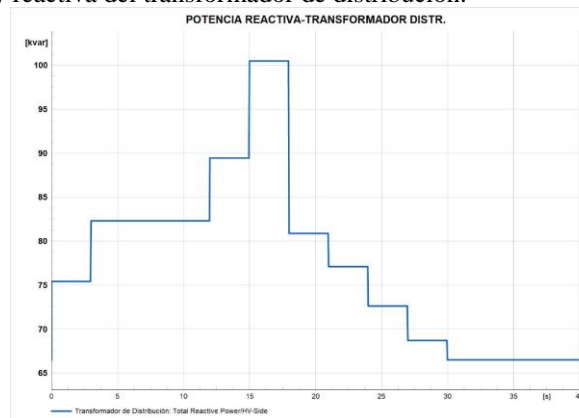


Figura 8: Potencia reactiva del transformador de distribución-Condición Inicial

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.

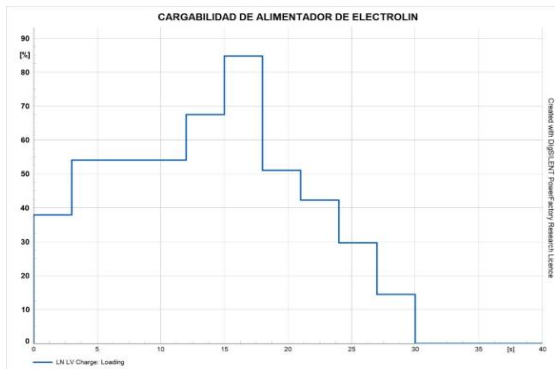


Figura 9: Voltaje del transformador de distribución en el lado de bajo voltaje- condiciones iniciales

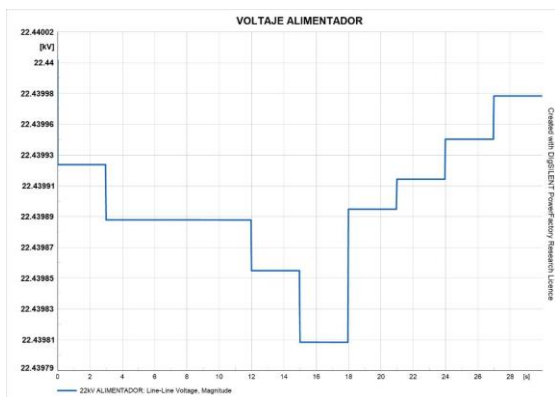


Figura 10: Voltaje del alimentador primario- Condiciones iniciales

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.

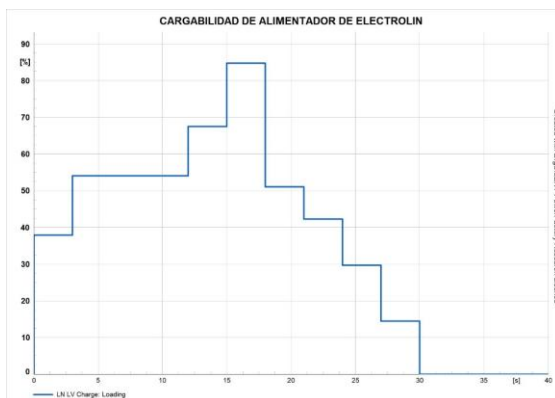


Figura 11: Cargabilidad del alimentador de la electrolinera- condiciones iniciales

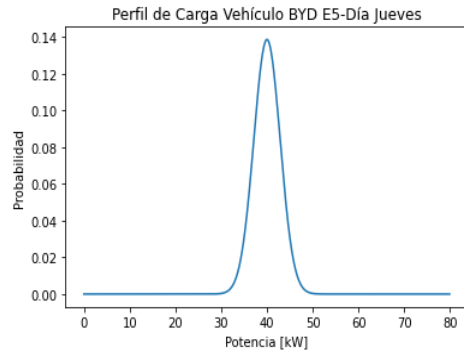


Figura 12: Curva de distribución de probabilidad vehículo BYD E5. día jueves 13:00 pm

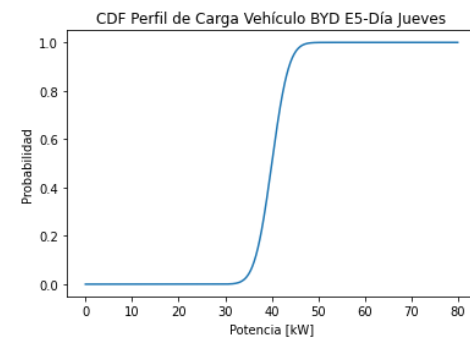


Figura 13: Curva CDF de distribución de probabilidad vehículo BYD E5. día jueves 13:00 pm

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

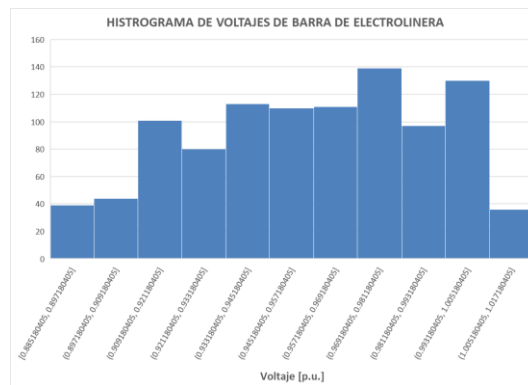


Figura 14: Histograma de voltaje de la barra de electrolinera. Caso 1

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.

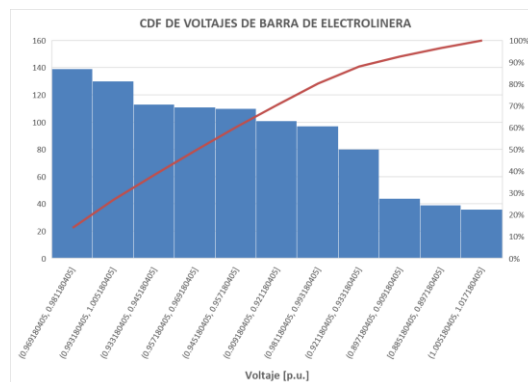


Figura 15: CDF de voltaje de barra de la electrolinera. Caso 1

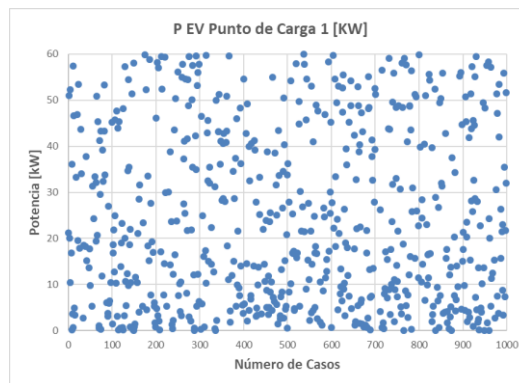


Figura 16: Generación de casos- Porcentaje del vehículo eléctrico 1. Caso 1

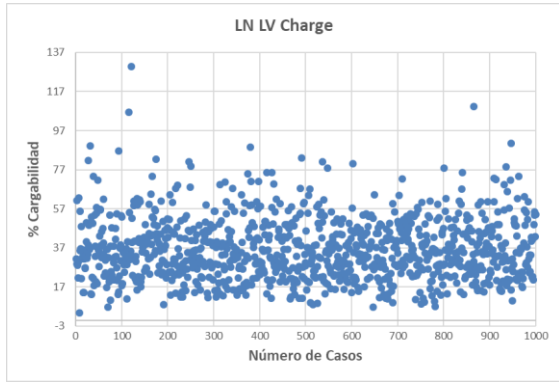


Figura 17: Generación de casos-Potencia activa de vehículo eléctrico. Caso 1

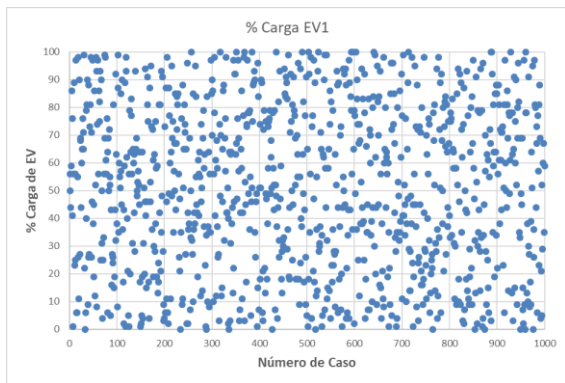


Figura 18: Generación de casos-Potencia acaba de vehículos 1. Caso 1

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.

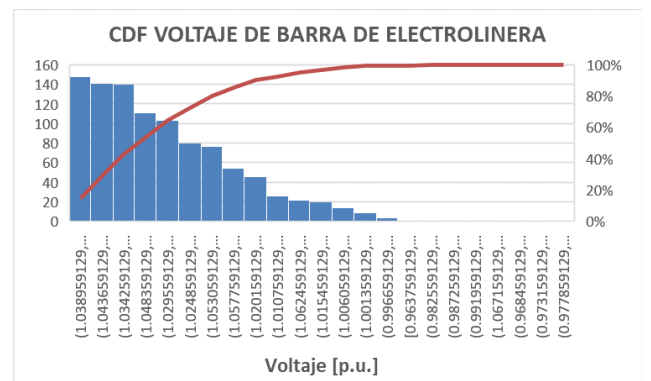


Figura 19: CDF de voltaje de la barra de electrolinera. Caso 2

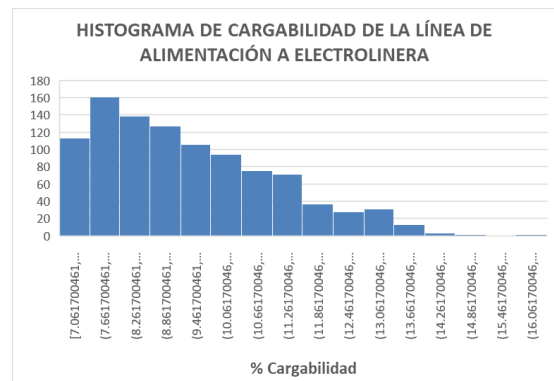


Figura 20: Cargabilidad de la línea de alimentación de la barra de la electrolinera. Caso 2

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 Transformadores 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 Red por la Puesta 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.