

# UCUENCA

**Universidad de Cuenca**

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Carrera de Electricidad

**Evaluación del impacto de la carga lenta de vehículos eléctricos en la calidad de energía en un tramo de red de distribución de bajo voltaje**

Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Eléctrico


**Autores:**

Daniel Sebastián Banegas Arias

Paúl Esteban Morejón Monteros

**Director:**

Claudio Esteban Albornoz Vintimilla

ORCID:  0009-0002-4811-2020

**Cuenca, Ecuador**

2024-07-31

## Resumen

Este trabajo de titulación tiene como objetivo evaluar el impacto de la carga lenta de vehículos eléctricos (VE) en la calidad de energía de una red de distribución de bajo voltaje. Con la creciente adopción de VE como una solución para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, es fundamental entender cómo esta nueva demanda de energía afecta la infraestructura eléctrica existente.

El estudio se enfoca en analizar posibles problemas relacionados con la calidad del producto en bajo voltaje. El análisis se realiza a través de modelado y simulación utilizando herramientas como Python y OpenDSS. Se seleccionan dos modelos de VE, el BYD T3 y el Kia Soul, y se desarrollan perfiles de carga específicos para cada uno mediante el Método Montecarlo. Se examinan diferentes niveles de penetración de VE en la red (5%, 10% y 15%) para evaluar cómo estos niveles de integración impactan la demanda del transformador, los niveles de voltaje, el flicker y el desequilibrio de voltaje. Los resultados obtenidos muestran que a medida que aumenta la penetración de VE estos indicadores empeoran.

Este estudio proporciona una visión de los impactos que la carga lenta de VE puede tener en las redes de distribución de bajo voltaje. Contribuye al entendimiento de los desafíos y oportunidades que presenta la adopción masiva de VE, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y el desarrollo de políticas de integración de VE en las redes eléctricas. De esta manera, apoya la transición hacia una movilidad más sostenible y la reducción efectiva de las emisiones de gases de efecto invernadero.

*Palabras clave del autor:* vehículo eléctrico, red distribución en bajo voltaje, calidad del producto, Montecarlo



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

**Repositorio Institucional:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

### Abstract

This thesis project aims to evaluate the impact of slow charging of electric vehicles (EVs) on the power quality of a low voltage distribution network. With the growing adoption of EVs as a solution to reduce greenhouse gas emissions, it is crucial to understand how this new energy demand affects the existing electrical infrastructure.

The study focuses on analyzing potential problems related to product quality in low voltage networks. The analysis is conducted through modeling and simulation using tools such as Python and OpenDSS. Two EV models, the BYD T3 and the Kia Soul, are selected, and specific charging profiles for each are developed using the Monte Carlo method. Different levels of EV penetration in the network (5%, 10%, and 15%) are examined to evaluate how these integration levels impact transformer demand, voltage levels, flicker, and voltage imbalance. The results show that as EV penetration increases, these indicators worsen.

This study provides insight into the impacts that slow EV charging can have on low voltage distribution networks. It contributes to the understanding of the challenges and opportunities presented by the mass adoption of EVs, providing a solid foundation for future research and the development of policies for EV integration into electrical networks. In this way, it supports the transition to more sustainable mobility and the effective reduction of greenhouse gas emissions.

*Author keywords:* electric vehicle, low voltage distribution network, product quality, Montecarlo



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

**Institutional Repository:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

## Índice de contenido

1.	Generalidades .....	13
1.1	Introducción. ....	13
1.2	Antecedentes.....	14
1.2.1	Impacto de los vehículos eléctricos en la red eléctrica.....	14
1.2.2	Efectos en la calidad de la energía en redes de baja tensión.....	15
1.2.3	Integración de energías renovables y vehículos eléctricos.....	15
1.2.4	Desafíos y soluciones en la descarbonización del transporte. ....	16
1.2.5	Mitigación de los impactos negativos en las redes eléctricas.....	17
1.2.6	Gestión inteligente de la carga y vehicle-to-grid (V2G). ....	17
1.3	Justificación. ....	17
1.4	Objetivo general.....	18
1.5	Objetivos específicos.....	19
1.6	Alcance y limitaciones.....	19
1.7	Metodología.....	20
2	Marco Teórico .....	21
2.1	Vehículos eléctricos.....	21
2.1.1	Vehículos eléctricos híbridos (HEV).....	21
2.1.2	Vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV).....	21
2.1.3	Vehículos eléctricos de batería (BEV).....	21
2.1.4	Vehículos eléctricos de células de combustible (FCEV).....	21
2.2	Conceptos de los VE. ....	22
2.2.1	Estado de carga.....	22
2.2.2	Hora de carga.....	23
2.3	Modos de carga de vehículos eléctricos. ....	23
2.4	Niveles de carga de VE.....	24
2.5	Calidad del producto. ....	25

2.5.1	Nivel de voltaje. ....	26
2.5.2	Perturbaciones rápidas de voltaje (flicker). ....	27
2.5.3	Distorsión armónica de voltaje. ....	28
2.5.4	Desequilibrio de voltaje. ....	29
2.6	Modelos de carga de los vehículos eléctricos. ....	29
2.6.1	Modelo de carga tradicional. ....	29
2.6.2	Modelo de carga derivativo. ....	30
2.6.3	Modelo de carga con incertidumbre aleatoria – Método Montecarlo. ....	31
2.7	Python. ....	33
2.8	OpenDSS. ....	33
3	Modelado de la carga de los Vehículos Eléctricos y la Red de Estudio ....	35
3.1	Modelado de la carga de los vehículos eléctricos. ....	35
3.1.1	Equipos e instrumentos. ....	35
3.1.2	Modelamiento de la carga del vehículo BYD T3. ....	36
3.1.3	Modelamiento de la carga del vehículo Kia Soul. ....	38
3.2	Red de estudio. ....	41
4	Modelamiento de la Inserción de Vehículos Eléctricos y Flujos de Carga. ....	44
4.1	Modelamiento de la inserción de vehículos eléctricos. ....	44
4.1.1	Entradas del programa. ....	44
4.1.2	Programación en Python. ....	46
4.1.3	Perfiles de carga obtenidos. ....	49
4.2	Flujos de carga. ....	50
5	Resultados y Discusión ....	51
5.1	Caso Base. ....	51
5.1.1	Demanda. ....	51
5.2	Nivel de penetración del 5%. ....	52
5.2.1	Demanda. ....	52
5.2.2	Nivel de voltaje. ....	53

5.2.3	Flicker.....	55
5.2.4	Desequilibrio de voltaje.....	56
5.3	Nivel de penetración del 10%. ....	56
5.3.1	Demanda.....	56
5.3.2	Nivel de voltaje. ....	58
5.3.3	Flicker.....	59
5.3.4	Desequilibrio de voltaje.....	60
5.4	Nivel de penetración del 15%. ....	61
5.4.1	Demanda.....	61
5.4.2	Nivel de voltaje. ....	62
5.4.3	Flicker.....	64
5.4.4	Desequilibrio de voltaje.....	65
6	Conclusiones y Recomendaciones.....	66
6.1.	Conclusiones.....	66
6.2.	Recomendaciones.....	67

### Índice de figuras

Figura 1. Conexión del analizador de calidad de energía respecto a un VE [43].	36
Figura 2. Curva de Potencia Activa vs. Tiempo para la carga del BYD T3 (Fuente: propia).	37
Figura 3. Curva de SoC vs. Tiempo durante la carga del BYD T3 (Fuente: propia).	37
Figura 4. Modelado de carga del BYD T3 (Fuente: propia).	38
Figura 5. Curva de Potencia Reactiva vs. Tiempo para la carga del BYD T3 (Fuente: propia).	38
Figura 6. Curva de Potencia Activa vs. Tiempo para la carga del Kia Soul (Fuente: propia).	39
Figura 7. Curva de SoC vs. Tiempo durante la carga del Kia Soul (Fuente: propia).	39
Figura 8. Modelado de carga del Kia Soul (Fuente: propia).	40
Figura 9. Curva de Potencia Reactiva vs. Tiempo para la carga del Kia Soul (Fuente: propia).	40
Figura 10. Topología de la red de estudio (Fuente: propia).	42
Figura 11. Perfil de demanda residencial normalizada [51].	42
Figura 12. Distribución de probabilidad discreta de los modelos de VE (Fuente: propia).	45
Figura 13. Distribución de probabilidad discreta horaria para la carga de VE (HoC) [45].	45
Figura 14. Curvas de carga de los modelos de VE (Fuente: propia).	46
Figura 15. Curvas de estado de carga (SoC) de los modelos de VE (Fuente: propia).	46
Figura 16. Identificación de índices de la curva del SoC que correspondieran a estados de carga superiores al 60%, los cuales permitirán obtener la porción de curva de carga necesaria para cargar el VE al 100% (Fuente: propia).	48
Figura 17. Perfil de carga resultante del BYD T3 asignado a un cliente cualquiera (Fuente: propia).	48
Figura 18. Perfiles de carga de VE con un nivel de penetración del 5% (Fuente: propia).	49
Figura 19. Perfiles de carga de VE con un nivel de penetración del 10% (Fuente: propia).	49
Figura 20. Perfiles de carga de VE con un nivel de penetración del 15% (Fuente: propia).	50
Figura 21. Demanda del transformador para el Caso Base (Fuente: propia).	51
Figura 22. Demanda Total vs Capacidad del Transformador (Caso Base) (Fuente: propia).	52
Figura 23. Demanda del transformador para un 5% de penetración (Fuente: propia).	52

Figura 24. Demanda Total vs Capacidad del Transformador (5% de penetración) (Fuente: propia). .....	53
Figura 25. Nivel de voltaje en la fase 1 para clientes con un nivel de penetración del 5% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).....	54
Figura 26. Nivel de voltaje en la fase 2 para clientes con un nivel de penetración del 5% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).....	54
Figura 27. Nivel de voltaje en el transformador con un nivel de penetración del 5% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).....	55
Figura 28. Flicker promedio en el transformador con un nivel de penetración del 5% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).....	55
Figura 29. Desequilibrio de voltaje promedio en el transformador con un nivel de penetración del 5% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia). .....	56
Figura 30. Demanda del transformador para un 10% de penetración (Fuente: propia). .....	57
Figura 31. Demanda Total vs Capacidad del Transformador (10% de penetración) (Fuente: propia). .....	57
Figura 32. Nivel de voltaje en la fase 1 para clientes con un nivel de penetración del 10% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).....	58
Figura 33. Nivel de voltaje en la fase 2 para clientes con un nivel de penetración del 10% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).....	59
Figura 34. Nivel de voltaje en el transformador con un nivel de penetración del 10% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).....	59
Figura 35. Flicker promedio en el transformador con un nivel de penetración del 10% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).....	60
Figura 36. Desequilibrio de voltaje promedio en el transformador con un nivel de penetración del 10% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia). .....	60
Figura 37. Demanda del transformador para un 15% de penetración (Fuente: propia). .....	61
Figura 38. Demanda Total vs Capacidad del Transformador (15% de penetración) (Fuente: propia). .....	62
Figura 39. Nivel de voltaje en la fase 1 para clientes con un nivel de penetración del 15% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).....	63
Figura 40. Nivel de voltaje en la fase 2 para clientes con un nivel de penetración del 15% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).....	63



Figura 41. Nivel de voltaje en el transformador con un nivel de penetración del 15% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).....	64
Figura 42. Flicker promedio en el transformador con un nivel de penetración del 15% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).....	64
Figura 43. Desequilibrio de voltaje promedio en el transformador con un nivel de penetración del 15% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia). ....	65

**Índice de tablas**

Tabla 1. Análisis comparativo de diferentes tecnologías de vehículos eléctricos [18].....	22
Tabla 2. Modos de carga de vehículos eléctricos [21]. .....	23
Tabla 3. Niveles de carga de vehículos eléctricos [21]. .....	24
Tabla 4. Selección de puntos para evaluar la calidad de producto [22]. .....	26
Tabla 5. Puntos de medición para calidad de producto [22]. .....	26
Tabla 6. Límites para el índice de nivel de voltaje [22]. .....	27
Tabla 7. Límites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal) [22].....	29
Tabla 8. Especificaciones técnicas de los dos modelos de VE disponibles en el Laboratorio de Microrred [38], [39]. .....	35
Tabla 9. Especificaciones técnicas de las dos estaciones de carga lenta disponibles en el Laboratorio de Microrred [41], [42]. .....	36
Tabla 10. Características de los parámetros de la red (Fuente: propia). .....	41

## **Agradecimientos**

Queremos agradecer a Dios por permitirnos terminar nuestra carrera, a nuestras familias y a los docentes de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, que durante estos años nos han transmitido el conocimiento y pasión por la carrera. Finalmente, deseamos expresar nuestro agradecimiento a los Ingenieros Esteban Albornoz, Danny Ochoa, y Diego Cando, así como al personal del Laboratorio de Microrred, por su invaluable colaboración en la realización de este trabajo de titulación.

**Daniel y Paúl**

### **Dedicatoria**

Quiero dar un agradecimiento muy especial a toda mi familia, quienes fueron el pilar fundamental en todo mi proceso educativo. Sin las charlas de mi mamá, que me han ayudado a sobrellevar todas mis preocupaciones y superar mis problemas con sus buenos consejos, sin las palabras de aliento de mi papá, que me inspiran a ser mejor persona, sin el apoyo de mis hermanos y sin la compañía de Kuki que siempre me acompañaba en mis días de estudio, nada de esto hubiera sido posible. Pienso que siempre hay que rodearte de personas que te ayuden a ser mejor cada día y mi familia lo hace a la perfección, mi proceso educativo fue mejor gracias a ellos y toda la vida estaré muy agradecido.

También quiero agradecer profundamente a los amigos que la vida universitaria me ha dado. No solo fueron compañeros de clase, sino personas en quienes confiar, en quienes pedir ayuda y con quienes compartir momentos de diversión y alegría. Sus risas, consejos y compañía hicieron de esta etapa una experiencia inolvidable y valiosa.

Finalmente, quiero agradecerme a mí mismo por el esfuerzo y la dedicación que he puesto en este camino. Lo que creía imposible hace unos años, ahora lo estoy logrando de la mejor manera. Reconozco el valor de mi trabajo y me siento orgulloso de mí mismo.

**Daniel**

Dedicado a mis padres, Paúl y Karina, por su constante apoyo, amor incondicional, y por darme la oportunidad de seguir mis sueños. A mis hermanos, José Gabriel y Anita Karina, por siempre estar a mi lado. Finalmente, a mis abuelos, por todas sus enseñanzas. Ningún logro valdría la pena sin ellos.

**Paúl**

## 1. Generalidades

### 1.1 Introducción.

El cambio climático, desencadenado por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), en su mayoría producto de la quema de combustibles fósiles, se ha erguido como una de las preocupaciones más grandes a escala mundial, infligiendo daños incuestionables en el entorno natural y poniendo en peligro la estabilidad del planeta; por lo que se ha iniciado un debate global sobre la eliminación gradual de los combustibles fósiles y su sustitución por energías renovables [1].

El sector del transporte es uno de los mayores contribuyentes a las emisiones de GEI, representando aproximadamente el 20% del dióxido de carbono ( $CO_2$ ) emitido a nivel global, y siendo el transporte terrestre la principal fuente de estas emisiones [2]. Especialmente en áreas urbanas, donde la congestión del tráfico implica velocidades reducidas y una frecuente detención y arranque, los automóviles convencionales contribuyen significativamente a la contaminación, incluso si los vehículos modernos están equipados con motores de baja emisión de contaminantes [3].

En [4] se menciona que el transporte por carretera ha sido catalogado como el principal contribuyente de GEI, se han optado por la implementación de vehículos eléctricos (VE) en reemplazo a los vehículos convencionales, esta decisión se debe a dos razones principales: preocupaciones ambientales e iniciativas gubernamentales. Los vehículos son apreciados por ser amigables con el medio ambiente, lo cual conlleva a bajas emisiones de gases, independencia de combustible y disminución de la contaminación acústica.

Por esta razón, en varias zonas del mundo se han propuesto diversas soluciones para la reducción de GEI. El artículo [5] menciona que la tercera Declaración de Comunicación Nacional al Plan de Acción de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, el Ministerio de Medio Ambiente de Ruanda presentó varias soluciones, entre las cuales se destaca la implementación de VE y sistemas eficientes basados en combustibles fósiles. En Ecuador, la electromovilidad, que incluye a los VE, se presenta como una alternativa de transición respetuosa con el ambiente para el sector del transporte, lo que sin lugar a dudas representa un cambio de paradigma tecnológico. Muchas instituciones en el país, incluyendo la Universidad de Cuenca, desde algunos años atrás vio en la electromovilidad una solución ante la huella de carbono del ser humano, llevando a cabo proyectos como Mover-U [6].

Es por ello que a lo largo de los años la demanda de los VE en el mundo ha ido en aumento. Según [4] la presencia de los mismos ha crecido de manera exponencial. En 2012, se vendieron cerca de 120,000 VE a nivel mundial. Para 2021, esta cifra ascendió a la cantidad de 6.6 millones, representando así el 10 % de las ventas globales de automóviles y en el primer trimestre de 2022 las ventas ya aumentaron un 75 % en comparación con el 2021.

El aumento significativo de los VE a nivel mundial supone un cambio progresivo en el sector del transporte, siendo tecnologías más limpias y amigables con el ambiente, contribuyendo a la reducción de GEI. Sin embargo, esta transición conlleva diversas consecuencias, especialmente para las redes eléctricas. Varios estudios señalan que existen efectos perjudiciales en las redes de bajo voltaje debido a la carga de los vehículos. La inserción de los VE es motivo de preocupación para las empresas distribuidoras, debido a que una mala integración de los mismos puede provocar sobrecarga en los transformadores, un aumento de la demanda pico, inestabilidad de voltaje, problemas asociados a la calidad de energía y pérdidas de energía excesivas [7].

El estudio realizado en [8] examinó los impactos en la calidad de la energía y realizó mediciones de los indicadores de calidad de la energía, observando que la naturaleza no lineal de la carga de los VE, debido a la electrónica de potencia, es la principal razón del impacto en la calidad de la energía, presentando variaciones en el factor de potencia y en la distorsión armónica total (THD) al conectar los vehículos a la red. Además, que las baterías de los VE pueden provocar picos de demanda y fluctuaciones de voltajes. El artículo [9] menciona que la carga de los VE puede aumentar de forma significativa la demanda de energía, provocando así sobrecargas en los transformadores y alimentadores de las redes de bajo voltaje; asimismo, puede influir en las desviaciones de la magnitud de voltaje, como también desequilibrios de carga, afectando así a la estabilidad y la eficiencia del sistema.

Teniendo en cuenta el gran número de investigaciones destinadas al análisis del efecto de los VE sobre el sistema eléctrico, en el siguiente trabajo de titulación se presenta el estudio del impacto en la calidad de la energía en una red de bajo voltaje debido a la carga lenta de los VE.

## **1.2 Antecedentes.**

### **1.2.1 Impacto de los vehículos eléctricos en la red eléctrica.**

Se destaca en [10] la necesidad de una infraestructura de carga inteligente; la gestión eficiente de la carga tiene el potencial de minimizar la presión sobre la red eléctrica,

mejorando su estabilidad y por ende su eficiencia. Por otra parte, en [11] se centra el análisis en la ubicación estratégica de estaciones de carga lenta. Una distribución adecuada y planificada puede influir en la cargabilidad de la red eléctrica, reduciendo la congestión y mejorando la distribución de la carga de los VE, que en años venideros se volverá un problema importante.

Respecto a los modos de carga de los VE, en [12] se ofrece un análisis detallado de las fluctuaciones de voltaje causadas por la recarga de baterías de los VE, lo que en última instancia repercute en la estabilidad y confiabilidad de la red.

En [12], [13] se observan las variaciones en corriente y potencia durante la carga de VE, donde se proporciona una perspectiva amplia sobre cómo estas variaciones impactan en la calidad de energía y enfatizan en la importancia de un monitoreo continuo de dichos parámetros eléctricos.

En los artículos [11], [14] se propone un modelo híbrido de estado de carga para VE que participen en servicios “vehicle-to-grid” (V2G). Esto implica una interacción bidireccional con la red eléctrica, lo cual puede afectar la carga y descarga de la energía.

### **1.2.2 Efectos en la calidad de la energía en redes de baja tensión.**

En [15], [16] se analiza que la carga masiva de VE puede tener un impacto significativo en la calidad de energía en la red de distribución de baja tensión. La variabilidad en la demanda y los picos de carga pueden afectar la estabilidad de la red y la calidad de la energía suministrada a los usuarios. Por lo tanto, se requieren soluciones como sistemas de gestión de carga inteligente y almacenamiento de energía para abordar estos desafíos y garantizar la estabilidad y la calidad de la energía suministrada a los usuarios.

### **1.2.3 Integración de energías renovables y vehículos eléctricos.**

En [15], [16] se indica que los VE tienen la capacidad de actuar como sistemas de almacenamiento energético. Suministrar energía a la red se presenta como una estrategia para equilibrar la variabilidad de las fuentes de energía renovables solucionando problemas asociados a su intermitencia. Además de que la gestión óptima de carga de vehículos y su participación en servicios V2G contribuyen a la estabilidad de la red, también genera beneficios económicos. Estos beneficios incluyen ahorros en generación de energía a gas y la reducción de emisiones de GEI.

En [16] se propone que la optimización de modelos de baterías maximizaría los beneficios tanto para los operadores de la red eléctrica como para los propietarios de VE. Mediante

un enfoque multiobjetivo se optimizan los parámetros y se garantiza la salud de las baterías para operaciones V2G y “grid-to-vehicle” (G2V).

La adopción masiva de VE es vista como un elemento crucial en la transición hacia cero emisiones netas, ya que estos no emiten gases de escape y, por lo tanto, pueden ayudar a reducir en gran medida las emisiones GEI del sector del transporte. Además, la prohibición de la venta de vehículos de gasolina y diésel es una medida que algunos países están considerando para acelerar la adopción de VE y alcanzar los objetivos de cero emisiones netas. Por ejemplo, el Reino Unido ha anunciado que prohibirá la venta de vehículos nuevos de gasolina y diésel a partir de 2030, y otros países, como Francia y Noruega, también han establecido objetivos similares [15].

#### **1.2.4 Desafíos y soluciones en la descarbonización del transporte.**

Los desafíos en la descarbonización del sector del transporte son principalmente abordados en [9], [11], [15], [17]. Se destaca que la electrificación de vehículos, aunque fundamental, no es suficiente por sí sola para alcanzar los objetivos de descarbonización, y se necesitan enfoques complementarios.

En los estudios de [5], [15], [17] señalan la importancia de políticas de incentivos y la eliminación de barreras para acelerar la adopción de VE. Estos pueden incluir subsidios, infraestructura de carga accesible y programas de concienciación para superar la resistencia del consumidor a la eco-movilidad.

En los artículos [15], [16] se discute acerca de la sostenibilidad económica de la transición hacia VE y la necesidad de equilibrar costos y beneficios a largo plazo. Se señala que, aunque los VE tienen un costo inicial más alto que los vehículos de combustión interna, los costos de mantenimiento son significativamente más bajos. Por otro lado, la infraestructura de carga es un factor importante a considerar en la transición hacia los VE. Asimismo, se discute la capacidad de la red eléctrica para manejar la carga masiva de los mismos y se sugieren soluciones para abordar este desafío, como la implementación de tecnologías de carga inteligente y la integración de energías renovables en la red eléctrica. Igualmente, es crucial considerar el impacto económico a largo plazo de la reducción de las emisiones de GEI y la dependencia de los combustibles fósiles, así como los beneficios potenciales en términos de salud pública y sostenibilidad ambiental.

La coordinación efectiva entre los sectores de energía y transporte es esencial para lograr la descarbonización y garantizar una transición sostenible hacia los VE. La planificación integrada y la colaboración entre gobiernos nacionales y locales son fundamentales para



garantizar que se aborden los desafíos y oportunidades de manera efectiva y se maximicen los beneficios para la sociedad en general [15].

#### **1.2.5 Mitigación de los impactos negativos en las redes eléctricas.**

El artículo [12] menciona que haciendo uso de un algoritmo de distribución de problemas de carga basado en teorías juegos se introduce un perfil de carga de naturaleza rectangular la cual representa la demanda que supone el VE. Este método supone así una alternativa robusta a los métodos convencionales existentes, permitiendo que se pueda equilibrar las pérdidas de energía y reducir el envejecimiento del transformador. A pesar de las ventajas mencionadas, existen pérdidas de optimizabilidad y convergencia.

Adicionalmente, [12] también describe un método para mejorar la calidad de la energía mediante carga inteligente. Este enfoque emplea un algoritmo de carga inteligente con un controlador de caída que se centra en corregir problemas críticos de calidad del voltaje, como las caídas de tensión. Los experimentos han mostrado que esta técnica puede mejorar significativamente la calidad de la energía, incluso en redes que presentan un alto grado de desequilibrio.

También se menciona que, mediante un método de flujo de potencia con alta tasa de convergencia y un algoritmo genético para optimización, el estudio se enfocó en la asignación óptima de estacionamientos y la incorporación de un sistema fotovoltaico, teniendo que la programación inteligente de cargas de VE durante la noche, combinada con sistemas PV, podría reducir las pérdidas del sistema y mejorar el perfil de voltaje [12].

#### **1.2.6 Gestión inteligente de la carga y vehicle-to-grid (V2G).**

La tecnología (V2G) es una de las mayores ventajas de los VE. En las horas que no se hace uso de los mismos, pueden entregar energía eléctrica a la red a partir de sus baterías, es decir, ser utilizados como fuentes de generación de energía distribuida para apoyar la red eléctrica existente, favoreciendo al aumento de la capacidad de la red en horas de alto consumo, reduciendo pérdidas, caídas de tensión, entre otros efectos.

El artículo [16] presenta un modelo híbrido de estado de carga para vehículos con capacidad de V2G, este modelo consiste en la optimización de la carga de la batería y la mantención de la estabilidad de la red en horas de alto consumo.

### **1.3 Justificación.**

La revisión de la literatura realizada sobre la evaluación del impacto de la carga lenta de VE en la calidad de energía en una red de distribución de baja tensión proporciona una idea

del panorama actual y hacia donde las investigaciones quieren llegar. Existe un consenso de que la mejor alternativa para la reducción de emisiones de GEI es la transición de los vehículos convencionales a los VE, por ello en varios países existen políticas con el objetivo de acelerar este proceso, buscando así una reducción considerable de la dependencia de los combustibles fósiles ya que el sector del transporte es uno de los principales consumidores de combustibles derivados del petróleo.

Este nuevo paradigma conlleva grandes repercusiones, como es el caso de la infraestructura eléctrica, por ello la revisión realizada indica el impacto de la inserción de los VE en los sistemas de distribución, especialmente debido a la carga lenta, dando a conocer que afecta a la calidad de la energía, provoca un aumento de la demanda, fluctuaciones de voltaje o inestabilidad en el sistema, entre otros efectos.

Se resaltan los esfuerzos por mitigar los impactos hacia la red eléctrica. Principalmente las investigaciones se basan en encontrar formas de reducir estos efectos; encontrando modelos de optimización de carga que ayudan a la reducción de la demanda en horas pico, esto en base a una carga planificada o también nuevas tecnológicas como es el caso de V2G que estabiliza el sistema.

Sin embargo, la revisión expone que existen ciertas limitaciones, como es el caso de la poca demanda de VE imposibilitando un estudio real y a gran escala. Por lo que la mayoría de estudios son realizados en base a métodos probabilísticos y son específicos de un sitio, impidiendo un escenario real preciso y generalizable. En Ecuador, existen pocos estudios de esta naturaleza, lo que resalta la urgencia de emprender investigaciones específicas sobre VE en el contexto local. El objetivo de este trabajo de titulación es realizar los estudios expuestos anteriormente en un contexto propio, siendo fundamental para que las empresas distribuidoras ecuatorianas puedan anticiparse, tomar precauciones y ejecutar acciones preventivas de manera estratégica.

#### **1.4 Objetivo general.**

Evaluar el impacto que tendrá la carga lenta de los vehículos eléctricos, bajo distintos niveles de penetración, en un tramo de la red de distribución en bajo voltaje de la ciudad de Cuenca, en base a indicadores de la calidad del producto.

### 1.5 Objetivos específicos.

- Medir a través de un analizador de calidad de energía los parámetros de potencia activa, reactiva durante el proceso de carga del vehículo eléctrico para obtener su curva de carga y de estado de carga.
- Seleccionar un transformador de distribución que sea representativo en cuanto a la demanda a través de un análisis multicriterio, y modelar su tramo de red.
- Desarrollar distintos niveles de penetración a través de un modelo probabilístico para hallar los perfiles de carga de los vehículos eléctricos.
- Realizar una simulación para cada nivel de penetración considerado. Esta simulación consistirá en el flujo de carga como serie temporal y se tomará en cuenta los perfiles de demanda residenciales sumada a la de los perfiles de carga obtenidos.
- Analizar el comportamiento del tramo de red en base a los indicadores de la calidad de producto y la demanda.

### 1.6 Alcance y limitaciones.

El alcance de este proyecto de titulación consiste de:

- La obtención de las curvas de carga y de estado de carga de dos vehículos eléctricos disponibles en el Laboratorio de Microrred de la Universidad de Cuenca, BYD T3 y Kia Soul en el régimen de carga liviana (o carga lenta) en bajo voltaje, es decir, el que corresponde al Modo 2 y Nivel 2 AC.
- Emplear cargadores bifásicos a 220V entre 3,2 kW y 7,2 kW.
- Modelar una red de distribución en bajo voltaje en la ciudad de Cuenca.
- El modelo de inserción de vehículos eléctricos permitirá obtener perfiles de carga para cada uno de los niveles de penetración. Este considera la asignación de un SoC basado en distribución de probabilidad continua, mientras que el HoC y modelo del VE, en distribuciones de probabilidad discretas.
- El impacto se cuantifica mediante la evaluación de la calidad del producto en bajo voltaje. Es decir, a nivel de consumidor únicamente se calculará el nivel de voltaje, mientras que, en el lado secundario del transformador, el nivel de voltaje, desequilibrio de voltaje y flicker.
- Adicionalmente, se estudiará el cambio en la demanda en el transformador para cada uno de los niveles de penetración incluyendo el Caso Base (sin inclusión de VE).

Las limitaciones por otra parte son:

- Se considera únicamente dos modelos de VE, en estudios futuros debería considerarse otros modelos y otros tipos de cargadores lentos.
- No se contempla el uso de la modalidad V2G como forma de mitigar los impactos en la calidad del producto ni la incorporación de otras formas de generación distribuida.
- No se consideran los análisis de la distorsión armónica total de voltaje.

### **1.7 Metodología.**

La metodología que se empleará consta de los siguientes cinco pasos.

1. Obtener las curvas de carga y estado de carga de los dos modelos de vehículos eléctricos.
2. Modelar una red de bajo voltaje en Cuenca en el simulador OpenDss.
3. Programar en Python un algoritmo, mediante el Método Montecarlo, para generar perfiles de carga de los VE para cada uno de los niveles de penetración considerados.
4. Ejecutar los flujos de carga como series temporales en cada nivel de penetración incluyendo los perfiles de carga generados.
5. Analizar el impacto de la demanda, considerando factores como demandas máximas, horas pico y factores de utilización, complementado con el análisis de los resultados mediante los indicadores y límites que establece la calidad del producto.

## 2 Marco Teórico

### 2.1 Vehículos eléctricos.

Un VE es un tipo de vehículo que utiliza uno o más motores eléctricos para propulsarse, en lugar de depender únicamente de un motor de combustión interna. Los vehículos eléctricos se clasifican en cuatro categorías principales según su tecnología y fuente de energía.

#### 2.1.1 Vehículos eléctricos híbridos (HEV).

Estos vehículos combinan un motor de combustión interna convencional con un motor eléctrico y una batería. Son más eficientes que los motores de gasolina, tienen bajas emisiones, costos de combustible reducidos, pero tienen una autonomía limitada debido a la batería [18].

#### 2.1.2 Vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV).

Estos vehículos también combinan un motor de combustión interna con un motor eléctrico y una batería, pero tienen la capacidad de cargar la batería desde una toma de corriente. Ofrecen una mayor autonomía de la batería, bajas emisiones y costos de combustible reducidos, pero pueden tener costos de fabricación más altos y una infraestructura de carga limitada [18].

#### 2.1.3 Vehículos eléctricos de batería (BEV).

Estos vehículos funcionan únicamente con electricidad almacenada en baterías recargables. Tienen cero emisiones, bajos costos de combustible, una autonomía prolongada de la batería, pero pueden tener costos de fabricación elevados y una infraestructura de carga limitada [18].

#### 2.1.4 Vehículos eléctricos de células de combustible (FCEV).

Estos vehículos utilizan motores eléctricos alimentados por una reacción entre hidrógeno y oxígeno. Tienen cero emisiones, bajos costos de combustible, pero pueden tener costos de fabricación elevados y una infraestructura de carga limitada [18].

Estas categorías representan diferentes enfoques tecnológicos para la movilidad eléctrica, cada uno con sus propias ventajas y desventajas en términos de eficiencia, costos e impacto ambiental, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis comparativo de diferentes tecnologías de vehículos eléctricos [18].

<b>Tecnología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Vehículos Eléctricos Híbridos (HEV)	Presenta una combinación de un motor de gasolina convencional con un motor eléctrico y una batería.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más eficiente que los motores de gasolina.</li> <li>• Bajas emisiones.</li> <li>• Costos de combustible reducidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autonomía de la batería limitada.</li> <li>• Altos costos de fabricación.</li> </ul>
Vehículos Eléctricos Híbridos Enchufables (PHEV)	Combina un motor de combustión interna tradicional con un motor eléctrico y una batería, con la capacidad de cargar la batería desde un enchufe de pared.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autonomía de la batería prolongada.</li> <li>• Bajas emisiones.</li> <li>• Costos de combustible reducidos.</li> <li>• Recargable.</li> <li>• Emisiones cero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autonomía de la batería limitada.</li> <li>• Altos costos de fabricación.</li> <li>• Infraestructura de carga limitada.</li> </ul>
Vehículos Eléctricos de Batería (BEV)	Son alimentados únicamente por electricidad almacenada en baterías recargables.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos costos de combustible.</li> <li>• Autonomía prolongada de la batería.</li> <li>• Recargable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos costos de fabricación.</li> <li>• Infraestructura de carga limitada.</li> </ul>
Vehículos Eléctricos de Células de Combustible (FCEV)	Son impulsados por motores eléctricos que se alimentan de una reacción entre hidrógeno y oxígeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones cero.</li> <li>• Bajos costos de combustible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos costos de fabricación.</li> <li>• Infraestructura de carga limitada.</li> </ul>

## 2.2 Conceptos de los VE.

### 2.2.1 Estado de carga.

El estado de carga (SoC, por sus siglas en inglés "State of Charge") se refiere a la medida de la capacidad restante de una batería como un porcentaje de su capacidad completamente cargada. El SoC es un factor crucial para determinar la capacidad de almacenamiento de energía y la capacidad de suministrar energía en las baterías de los VE. También se ve afectado por factores como la temperatura, que influye en el comportamiento de la batería durante la carga y la descarga. La estimación precisa del SoC es vital para optimizar la vida útil de la batería, prevenir la sobrecarga o la descarga profunda, y garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de los VE [19].

### 2.2.2 Hora de carga.

La hora de carga (HoC, por sus siglas en inglés "Hour of Charge") en los VE se refiere al momento en el cual el vehículo comienza a cargarse, es decir, el instante en que se conecta al cargador y se inicia el proceso de carga de la batería. La HoC puede ser programada por el propietario del vehículo o ser espontánea en un momento conveniente para el propietario, sin una planificación previa ("ad hoc charging"). En general el HoC puede variar según las preferencias del usuario, los horarios de tarifas eléctricas más económicas o las necesidades de carga del vehículo [20].

### 2.3 Modos de carga de vehículos eléctricos.

Mediante la Resolución Nro. ARCERNNR-036/2023, la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR) aprobó el Pliego Tarifario para los Proveedores del Servicio de Carga de Energía a Vehículos Eléctricos para el periodo comprendido enero-diciembre 2024 [21]. En este documento se especifican los modos de carga de VE en el territorio ecuatoriano.

Los modos de carga, establecidos por la Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission - IEC) según la norma IEC 61851-1, toman en cuenta las diversas características enumeradas en la Tabla 2. Esta tabla detalla la comunicación entre el vehículo y la estación de carga, además del nivel de seguridad al conectar a la red de suministro eléctrico [21].

Tabla 2. Modos de carga de vehículos eléctricos [21].

Modo	Descripción	Características
Modo 1	Conexión entre un tomacorriente estándar de una red de suministro de AC y un vehículo eléctrico sin comunicación ni características de seguridad adicionales.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Comúnmente usado para carga de vehículos eléctricos pequeños (motos, bicicletas, scooters y demás).</li><li>• Modo en desuso debido al potencial peligro que representa</li></ul>
Modo 2	Conexión entre un tomacorriente estándar de una red de suministro de AC y un vehículo eléctrico con comunicación y características de seguridad adicionales.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mejor nivel de protección que el modo 1.</li><li>• La caja de control protege al cable y al vehículo aguas abajo.</li><li>• El conector y la red eléctrica son susceptibles a posibles daños.</li></ul>
Modo 3	Conexión de un vehículo eléctrico a un equipo de suministro de AC, conectado permanentemente a una red de suministro de AC con	Conductor adicional en el conjunto de cables de carga denominado "piloto de control", el cual tiene las siguientes funciones:



	comunicación y características de seguridad adicionales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificación de una correcta conexión entre el vehículo y la red.</li> <li>• Monitoreo continuo del conductor para protección a tierra.</li> <li>• Conexión y desconexión del sistema.</li> <li>• Selección del tipo de carga.</li> </ul>
Modo 4	Conexión de un vehículo eléctrico a una red de suministro de AC utilizando un equipo de suministro de DC, con comunicación (de alto nivel) y características de seguridad adicionales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conexión indirecta del vehículo a la red utilizando un cargador externo.</li> <li>• Uso extendido en estaciones de carga de corriente continua y principalmente para carga rápida.</li> </ul>

## 2.4 Niveles de carga de VE.

Los niveles de carga de VE se especifican en el Pliego Tarifario para los Proveedores del Servicio de Carga de Energía a Vehículos Eléctricos para el periodo comprendido enero-diciembre 2024.

El estándar estadounidense SAE J1772-2010 determina los niveles de carga indicados en la Tabla 3. En la cual se considera la velocidad de carga, tipo de corriente (corriente alterna – AC o corriente continua – DC), nivel de potencia y otros aspectos regulatorios asociados a la infraestructura necesaria para la puesta en funcionamiento de una estación de carga [21].

Tabla 3. Niveles de carga de vehículos eléctricos [21].

Nivel	Gráfico	Descripción
Nivel 1 AC		<p>Corriente: Alterna (AC).</p> <p>Nivel de voltaje: usualmente hasta 120V.</p> <p>En términos generales, la carga de nivel 1 se refiere al uso de una toma doméstica estándar. Este tipo de carga se encuentra expandido en el sector residencial y en la mayoría de los lugares de trabajo.</p>
Nivel 2 AC		<p>Corriente: Alterna (AC).</p> <p>El nivel de voltaje: usualmente hasta 240 V.</p> <p>El circuito exclusivo que requiere esta instalación utiliza corrientes entre 20 y 80 A. Es común encontrar este tipo de carga en los lugares de trabajo y zonas de acceso público, aunque dependiendo de las condiciones, también presenta aplicaciones residenciales.</p>



DCFC		<p>Corriente: Directa o Continua (DC).</p> <p>Nivel de voltaje: usualmente hasta 480 V de entrada.</p> <p>La carga rápida en DC – DCFC (DC Fast Charging), generalmente, se ubica a lo largo de corredores eléctricos donde existe tráfico pesado (carreteras principalmente) y en estaciones de servicio público.</p>
------	---	--

### 2.5 Calidad del producto.

En la Resolución Nro. ARCERNNR-003/2023 se expidió la Regulación Nro. ARCERNNR 002/20 (Codificada) denominada “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica”. En donde se establecen los estándares y límites de calidad para el servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica, así como definir los métodos para medir, registrar y evaluar el cumplimiento de estos estándares por parte de las empresas eléctricas de distribución y los consumidores, según sea el caso [22].

La calidad del producto se refiere a la parte del servicio de calidad que aborda la entrega de señales eléctricas por parte de las empresas distribuidoras. Esta se fundamenta en: nivel de voltaje, perturbaciones rápidas de voltaje (flicker), distorsión armónica de voltaje y desequilibrio de voltaje. Adicionalmente, se definen los siguientes valores de niveles de voltaje:

- Bajo voltaje: menor igual a 0,6 kV.
- Medio voltaje: mayor a 0,6 kV y menor igual a 40 kV.
- Alto voltaje Grupo 1: mayor a 40 kV y menor igual a 138 kV.
- Alto voltaje Grupo 2: mayor a 138 kV.

La medición, registro y almacenamiento de los valores en cada punto, para el cálculo de la calidad de producto, seleccionado debe efectuarse durante un periodo de evaluación no inferior a siete días continuos en intervalos de 10 o 15 minutos [2].

La Tabla 4 indica cómo debe realizarse la selección de los puntos de medida. Adicionalmente, los equipos y procedimientos deberán cumplir con la norma IEC 61000-4-11e IEC 61000-4-30 o sus reformas. Los puntos de medición para cada uno de los grupos se muestran por otra parte en la Tabla 5 [22].

Tabla 4. Selección de puntos para evaluar la calidad de producto [22].

Grupo	Descripción	Cantidad	Tipo de selección
1	Barras de salida de subestaciones de distribución AV/MV	Todas las barras de salida de subestaciones de distribución AV/MV	Anual
2	Alto Voltaje (Grupo 1 y 2)	Todos los consumidores servidos en alto voltaje	Anual
3	Transformadores de distribución	0,15% del total de transformadores de distribución (No menos de 5)	Mensual
4	Medio Voltaje	0,5% del total de consumidores servidos en medio voltaje (No menos de 5)	Mensual
5	Bajo Voltaje	0,01% del total de consumidores servidos en bajo voltaje (No menos de 7)	Mensual

Tabla 5. Puntos de medición para calidad de producto [22].

Grupo	Descripción	Punto de medición	Índices a medir
1	Barras de salida de subestaciones de distribución AV/MV	MV	Nivel de voltaje
2	Alto Voltaje (Grupo 1 y 2)	AV	Nivel de voltaje, flicker, armónicas de voltaje, desbalance de voltaje
3	Transformadores de distribución	BV	Nivel de voltaje, flicker, armónicas de voltaje, desbalance de voltaje
4	Medio Voltaje	MV	Nivel de voltaje, flicker, armónicas de voltaje, desbalance de voltaje
5	Bajo Voltaje	BV	Nivel de voltaje

A continuación, se describen los índices que conforman el estudio de la calidad de producto.

### 2.5.1 Nivel de voltaje.

#### 2.5.1.1 Índice.

La calidad de nivel de voltaje en un punto del sistema de distribución se determinará con la Ecuación 1.

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} \times 100 [\%]$$

Ecuación 1

Donde:

- $\Delta V_k$  es la variación del voltaje de suministro respecto al voltaje nominal en el punto  $k$ .
- $V_k$  es el voltaje de suministro en el punto  $k$ , determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos.
- $V_N$  es el voltaje nominal en el punto  $k$  [22].

### 2.5.1.2 Límites.

Los rangos admitidos de voltaje se especifican en la Tabla 6.

Tabla 6. Límites para el índice de nivel de voltaje [22].

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

### 2.5.2 Perturbaciones rápidas de voltaje (flicker).

#### 2.5.2.1 Índice.

Se evaluará mediante el índice de severidad por flicker de corta duración ( $P_{st}$ ), que se indica en la Ecuación 2, conforme la norma IEC 61000-4-15, el cual mide la severidad de las variaciones periódicas de amplitud de voltaje a corto plazo, con intervalos de medición de 10 minutos.

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0.1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}}$$

Ecuación 2

Donde:

- $P_{st}$  es el índice de severidad de flicker de corta duración.

- $P_{0.1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$  corresponden a los niveles de efecto flicker que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10% y 50% del tiempo total del intervalo de medición [22].

### 2.5.2.2 Límite.

El valor límite para el índice de severidad de flicker de corta duración  $P_{st}$  en el punto de medición respectivo no debe superar la unidad [22].

## 2.5.3 Distorsión armónica de voltaje.

### 2.5.3.1 Índices.

Se evaluará la distorsión armónica individual de voltaje y la distorsión armónica total de voltaje de acuerdo a las siguientes ecuaciones.

$$V_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_{h,1}} \times 100 [\%] \quad \text{Ecuación 4}$$

$$THD_k = \left[ \frac{1}{V_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,k})^2} \right] \times 100 [\%] \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

- $V_{h,k}$  es la armónica de voltaje  $h$  en el intervalo  $k$  de 10 minutos.
- $V_{h,i}$  es el valor eficaz de la armónica de voltaje  $h$  (para  $h = 2, 3, \dots, 50$ ), medido cada 3 segundos ( $i = 1, 2, \dots, 200$ ).
- $DV_{h,k}$  es el factor de distorsión individual de voltaje de la armónica  $h$  (para  $h = 2, 3, \dots, 50$ ) en el intervalo  $k$  de 10 minutos.
- $THD_k$  es el factor de distorsión armónica total de voltaje.
- $V_{h,1}$  es el valor eficaz de la componente fundamental de voltaje en el punto de medición [22].

### 2.5.3.2 Límites.

Los límites máximos del factor de distorsión armónica individual de voltaje y del factor de distorsión armónica total de voltaje se indican en la Tabla 7 [22].

Tabla 7. Límites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal) [22].

Nivel de voltaje	Factor de distorsión armónica individual (%)	THD (%)
Bajo Voltaje	5.0	8.0
Medio Voltaje	3.0	5.0
Alto Voltaje (Grupo 1)	1.5	2.5
Alto Voltaje (Grupo 2)	1.0	1.5

## 2.5.4 Desequilibrio de voltaje.

### 2.5.4.1 Índice.

El desequilibrio de voltaje en un punto del sistema de distribución se determina a través de la Ecuación 6.

$$DV = \left| \frac{V^-}{V^+} \right| \times 100 [\%] \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

- $V^-$  es la componente de secuencia negativa de voltaje, determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos.
- $V^+$  es la componente de secuencia positiva de voltaje, determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos [22].

### 2.5.4.2 Límite.

El valor límite para el índice de desequilibrio de voltaje en un punto de medición será de 2% para todos los niveles de voltaje [22].

## 2.6 Modelos de carga de los vehículos eléctricos.

### 2.6.1 Modelo de carga tradicional.

El modelo de carga tradicional es quizás el enfoque más simplificado, ya que trata de modelos de carga clásicos de impedancia, corriente o potencia constante, para así aproximar el comportamiento del vehículo [23].

### 2.6.1.1 Modelo del vehículo eléctrico como corriente constante.

Se hace uso del modelo de corriente constante para el modelado del vehículo, aprovechando el método de carga de las baterías que son a través de corriente constante [23]. Según [24] se les denomina V2G y el modelo es utilizado para el análisis de estabilidad de voltaje.

### 2.6.1.2 Modelo del vehículo eléctrico como potencia constante.

El modelo de potencia constante es ampliamente utilizado para el análisis de estabilidad en sistemas de distribución con una alta penetración de VE. El método de potencia constante se lo considera muy simplificado debido a que se tiene en cuenta las variaciones de potencia activa y reactiva en los VE, siendo independientes de la tensión [24].

### 2.6.1.3 Modelo del vehículo eléctrico como impedancia constante.

En este modelo, la potencia varía de forma proporcional al cuadrado de la tensión, de tal forma que la impedancia de entrada del cargador se la considera constante, dando como resultado una variación constante entre la tasa de cambio de la tensión y corriente de entrada del VE [23].

## 2.6.2 Modelo de carga derivativo.

El avance en los estudios de las baterías sugiere que el consumo energético de la batería está en función del SoC, esto se debe a los cambios en las tasas de carga de las mismas, por tal razón, se ha propuesto modelos derivados de los tradicionales, en los que se incluyan estas nuevas consideraciones y se analiza el desempeño de los cargadores de baterías de los vehículos para estimar estos modelos [23].

### 2.6.2.1 Modelo exponencial.

Considera el comportamiento de un cargador de baterías, que consta de una etapa de rectificación de voltaje y de un convertidor DC-DC con modulación por ancho de pulso (PWM) [24], cuya expresión es:

$$\frac{P}{P_0} = k_{cp} + k_{vd} \left( \frac{v}{v_0} \right)^\alpha \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

- $P_0$ : potencia consumida.
- $v_0$ : voltaje de referencia.

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

### 2.6.2.2 Modelo polinomial ZIP.

Consta de un cargador de VE, además de un convertidos AC/DC controlado con un filtro en el lado de AC y un convertidor tipo Buck DC/DC. El control es mediante la variación de corriente y voltaje para rangos de batería entre el 0 y 100% [24]. La relación de potencia consumida y variación de carga, potencia y corriente está dada por la siguiente relación:

$$P_{ZIP}^{dk} = P_0^{EV} (Z_p^{EV} (V_0^{EV})^2 + I_p^{EV} V_0^{EV} + P_p^{EV}) \quad \text{Ecuación 8}$$

$$Q_{ZIP}^{dk} = Q_0^{EV} (Z_q^{EV} (V_0^{EV})^2 + I_q^{EV} V_0^{EV} + P_q^{EV}) \quad \text{Ecuación 9}$$

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.

### 2.6.3 Modelo de carga con incertidumbre aleatoria – Método Montecarlo.

Algunos de los conceptos claves para entender el Método Montecarlo son:

#### 2.6.3.1 Variable aleatoria continua.

Una variable aleatoria continua puede tomar cualquier valor numérico dentro de un intervalo o rango específico. Los valores son incontables y están relacionados con los números reales [25]. Una variable aleatoria continua es el estado de carga de un VE, el cual puede estar, entre dos valores específicos.

#### 2.6.3.2 Distribución de probabilidad continua.

Las distribuciones de probabilidad asociadas con variables aleatorias continuas asignan una probabilidad a cada uno de estos valores posibles. Debido a que pueden tomar infinitos valores, las distribuciones de probabilidad para variables continuas se describen a menudo mediante una función de densidad de probabilidad (PDF), que debe integrarse para obtener

probabilidades de intervalos de valores [26]. Siguiendo con la variable aleatoria continua pasada, cada número dentro de ese rango tiene la misma probabilidad de ser elegido, entonces se trata de una distribución uniforme continua.

### **2.6.3.3 Variable aleatoria discreta.**

Una variable aleatoria discreta es aquella que puede asumir un conjunto finito o infinito contable de valores específicos y separados. Es decir, la variable puede tomar uno de estos valores, pero no intermedios [27]. Un ejemplo de variable aleatoria discreta es el modelo de VE disponible en el laboratorio de Microrred. Otro ejemplo es la hora de inicio de carga de un VE para un intervalo discretizado de un día.

### **2.6.3.4 Distribución de probabilidad discreta.**

Una distribución de probabilidad discreta muestra la probabilidad asociada con cada valor de una variable aleatoria discreta [28]. Para las dos variables anteriores se tiene una distribución de probabilidad discreta específica.

El Método Montecarlo es una técnica de simulación estadística que se utiliza para aproximar soluciones numéricas a problemas matemáticos complejos mediante la generación de muestras aleatorias, que imitan los posibles resultados del mundo real [29]. Se basa en el uso de variables aleatorias, tanto continuas como discretas, y en la evaluación de la distribución de probabilidad asociada a estas variables [30]. Este método es ampliamente utilizado en campos como la física, la ingeniería, la economía y la gestión empresarial, donde la incertidumbre y el riesgo son factores significativos [31]. Algunas de sus aplicaciones son:

- Simulación molecular: Se utiliza para estudiar moléculas que no se pueden observar fácilmente, como el ADN y las proteínas, y para modelar nuevos materiales y cristales líquidos [30].
- Dosimetría y física médica: Ayuda en la simulación de sistemas de partículas y en la interpretación de empaquetamientos de esferas rígidas en espacios nanométricos. También se emplea en la dosimetría, que es crucial para los tratamientos de radioterapia [32].
- Confiabilidad de sistemas de distribución de energía eléctrica: Se aplica en estudios de confiabilidad para predecir el comportamiento de los sistemas de distribución de energía eléctrica y para mejorar su eficiencia y seguridad [33].



En el contexto del presente estudio, el Método Montecarlo permitirá aproximar soluciones numéricas de perfiles de carga de VE, basándose en la generación de muestras aleatorias que representan posibles resultados del mundo real. Las variables aleatorias y sus respectivas distribuciones de probabilidad se utilizarán para modelar la elección aleatoria de modelos de VE, el estado de carga de las baterías y los tiempos de inicio de carga. Esta aproximación permitirá evaluar la variabilidad en los perfiles de carga de VE en función de diferentes niveles de penetración.

### **2.7 Python.**

Python es un lenguaje de programación de alto nivel utilizado en diversos campos del conocimiento, incluyendo la informática, la ciencia de datos y la ingeniería [34]. Es reconocido por su estructura clara y comprensible, así como por su versatilidad y la amplia gama de bibliotecas que lo hacen adecuado para múltiples propósitos.

Spyder, por otro lado, es un entorno de desarrollo interactivo (IDE) para Python con capacidades avanzadas para la realización de análisis de datos y cálculos científicos, que viene incluido en la distribución de Anaconda [35]. Es utilizado para la realización de cálculos numéricos, visualización de resultados y el desarrollo de algoritmos, incluido el Método Montecarlo, el cual es sujeto de interés el presente trabajo.

El Método Montecarlo será desarrollando usando series temporales, las cuales son datos que se producen a lo largo del tiempo, por ejemplo, en segundos, minutos, horas, etc. Para tener un manejo adecuado de las series temporales dentro del entorno Spyder, es necesario disponer de las siguientes librerías.

- Numpy: Acrónimo de Numerical Python, es la librería que incluye funcionalidades para realizar operaciones vectoriales y matriciales.
- Pandas: Construida sobre Numpy, es una librería que sirve para manipular y analizar datos en Python. Ofrece estructuras de datos y operaciones para manipular tablas numéricas y series temporales.
- Matplotlib: Es una librería que sirve para generar gráficos a partir de listas o arrays en Python y su extensión matemática Numpy [36].

### **2.8 OpenDSS.**

El simulador de sistema de distribución de código abierto, OpenDSS, es un paquete integral de simulación de sistemas de energía eléctrica para sistemas de distribución de energía de servicios públicos desarrollado por Electric Power Research Institute (EPRI). Tiene dos

modos: simulación sinusoidal de estado estacionario y simulación de series temporales (o cuasi estado estable). Ambos son muy eficientes y útiles para muchos análisis [37]. En este programa se simulará una red de bajo voltaje para su posterior incorporación de los perfiles de carga vehicular producto del Método Montecarlo.



### 3 Modelado de la carga de los Vehículos Eléctricos y la Red de Estudio

#### 3.1 Modelado de la carga de los vehículos eléctricos.

##### 3.1.1 Equipos e instrumentos.

Se realizaron mediciones de las curvas de carga y estado de carga de los dos VE livianos disponibles en el Laboratorio de Microrred de la Universidad de Cuenca, que son: un Kia Soul y un BYD T3, cuyas especificaciones técnicas se indican en la Tabla 8.

Tabla 8. Especificaciones técnicas de los dos modelos de VE disponibles en el Laboratorio de Microrred [38], [39].

Marca	Modelo	Fotografía VE	Capacidad de la batería [kWh]	Autonomía [km]	Rendimiento [kWh/km]
Kia	Soul		64	370	0,173
BYD	T3		50,3	300	0,167

Así mismo, el laboratorio dispone de tres estaciones de carga lenta bifásicas [40]. Para las mediciones se emplearon únicamente los cargadores, que funcionan a 220V, cuyas especificaciones técnicas se presentan en la Tabla 9.

Las curvas de ambos vehículos fueron registradas mediante el analizador de calidad de energía PowerPad® III Modelo 8333 de la marca AEMC Instruments el cual cumple con la norma de seguridad eléctrica IEC 61010 y por lo tanto, es válida según la Regulación Nro. ARCERNNR 002/20 [22]. El analizador se configuró con un periodo de muestreo de 10 minutos. La conexión fue del tipo 2 fases y un neutro (2F3C), como se muestra en el diagrama de la Figura 1. Se conectó cada vehículo de forma separada cuando su SoC era bajo, ya que ambos vehículos se utilizan constantemente debido al programa Mover-U.

Tabla 9. Especificaciones técnicas de las dos estaciones de carga lenta disponibles en el Laboratorio de Microrred [41], [42].

Marca	Modelo	Estación	Conector	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [kW]
AeroVironment	EVSE-RS-25			208-240	30	7,2
LXSWY	EV Charging Station			220	16	3,6

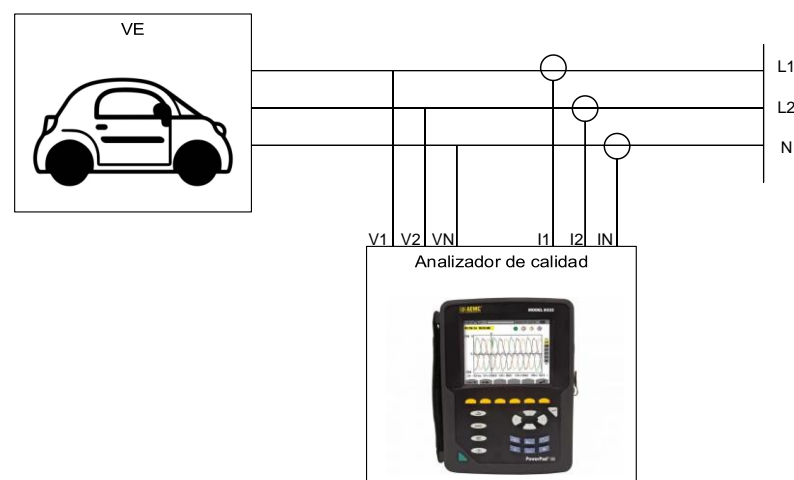


Figura 1. Conexión del analizador de calidad de energía respecto a un VE [43].

### 3.1.2 Modelamiento de la carga del vehículo BYD T3.

La carga de este vehículo comenzó con un estado de carga inicial del 25%. En la Figura 2 se observa la curva de Potencia vs. Tiempo; se puede apreciar que la carga es constante, ya que durante todo el intervalo de carga la potencia mantiene un mismo valor que es aproximadamente 2.9 kW.

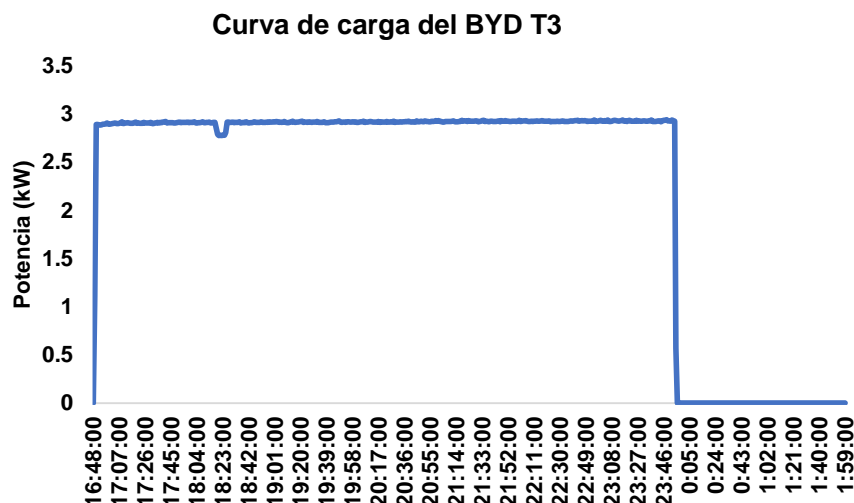


Figura 2. Curva de Potencia Activa vs. Tiempo para la carga del BYD T3 (Fuente: propia).

En la Figura 3 se presenta la evolución del estado de carga, esta curva asocia la energía que acumula la batería durante el proceso de carga. La carga comenzó con un SoC inicial del 25% y después de aproximadamente 7 horas llegó al 100%.

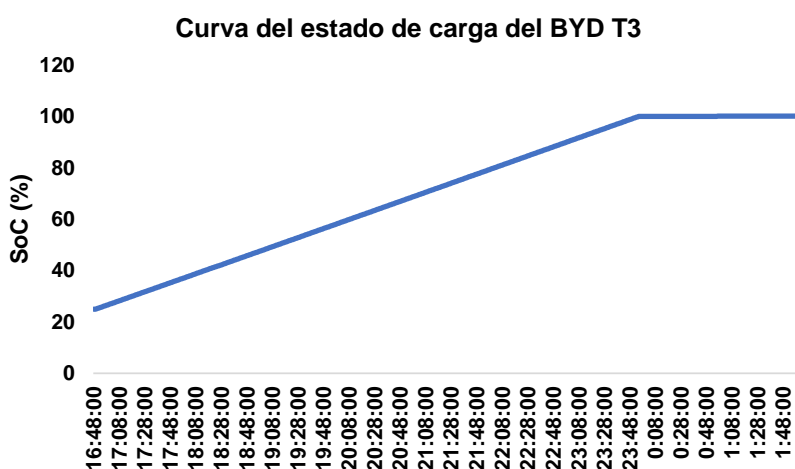


Figura 3. Curva de SoC vs. Tiempo durante la carga del BYD T3 (Fuente: propia).

En la Figura 4 se tiene una mejor noción del proceso de carga. Al comenzar el suministro de potencia al vehículo, el SoC aumenta progresivamente, indicando que la batería está acumulando energía. Cuando el proceso de carga finaliza, es decir, cuando el SoC alcanza el 100%, el suministro de potencia se interrumpe y el SoC deja de aumentar.

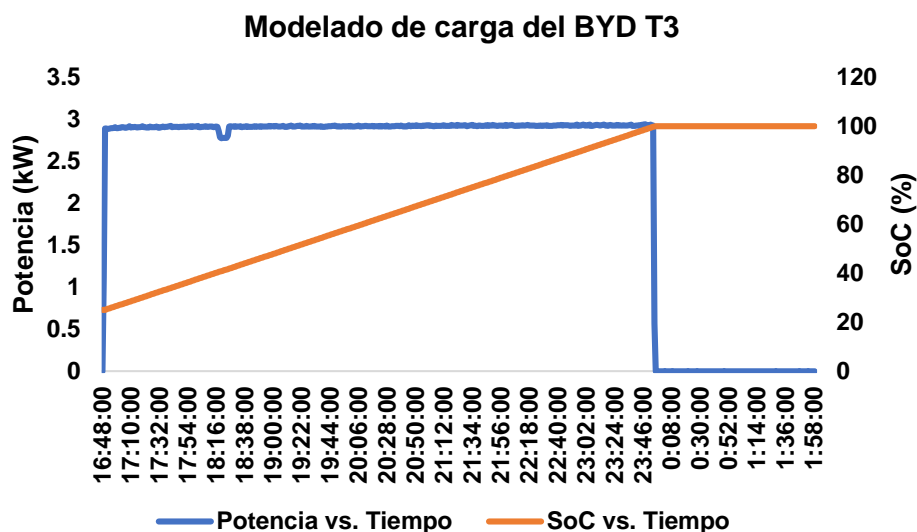


Figura 4. Modelado de carga del BYD T3 (Fuente: propia).

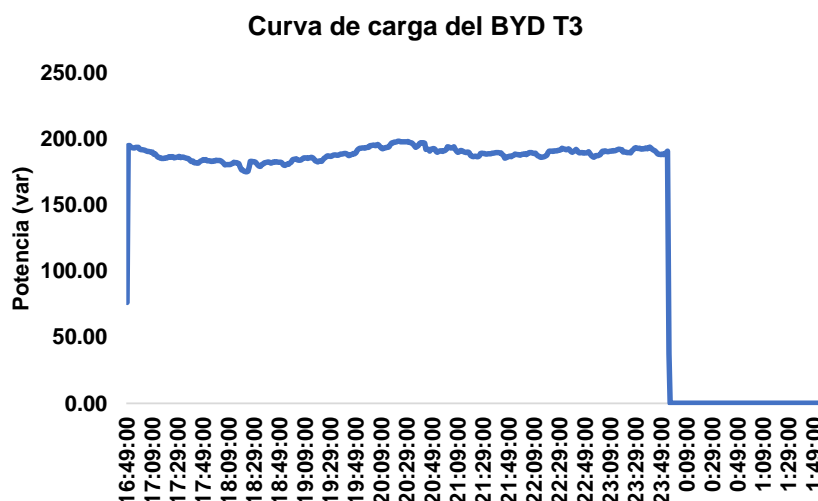


Figura 5. Curva de Potencia Reactiva vs. Tiempo para la carga del BYD T3 (Fuente: propia).

### 3.1.3 Modelamiento de la carga del vehículo Kia Soul.

Utilizando la misma metodología empleada en el vehículo BYD T3, se llevó a cabo el modelado de la carga del vehículo Kia Soul, en este caso el estado de carga inicial fue del 0%. En la Figura 6 se muestra la curva de Potencia vs. Tiempo, se puede apreciar que en un intervalo de 3 horas la potencia es constante con un valor aproximado de 6 kW, pasado ese intervalo, la potencia decae a valores menores a 1 kW, con el fin de preservar la vida útil de la batería.

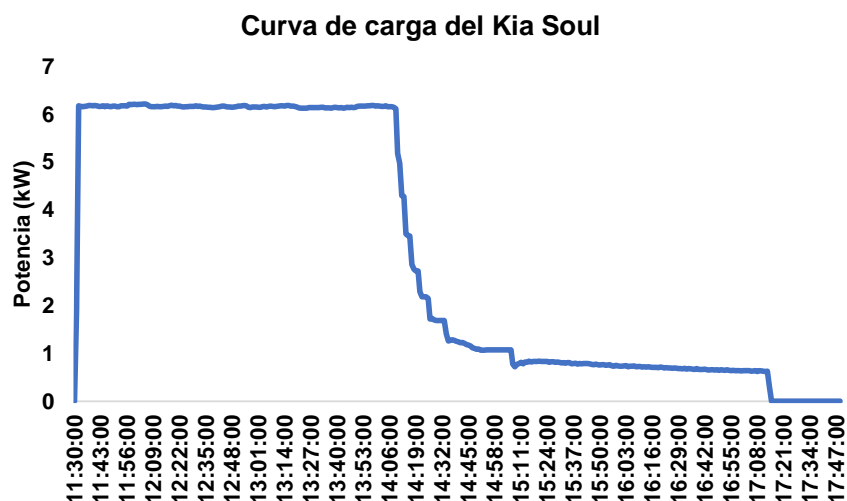


Figura 6. Curva de Potencia Activa vs. Tiempo para la carga del Kia Soul (Fuente: propia).

En la Figura 7 se presenta la evolución del estado de la carga, observándose que la carga desde el 0% hasta el 100% duró aproximadamente 6 horas.

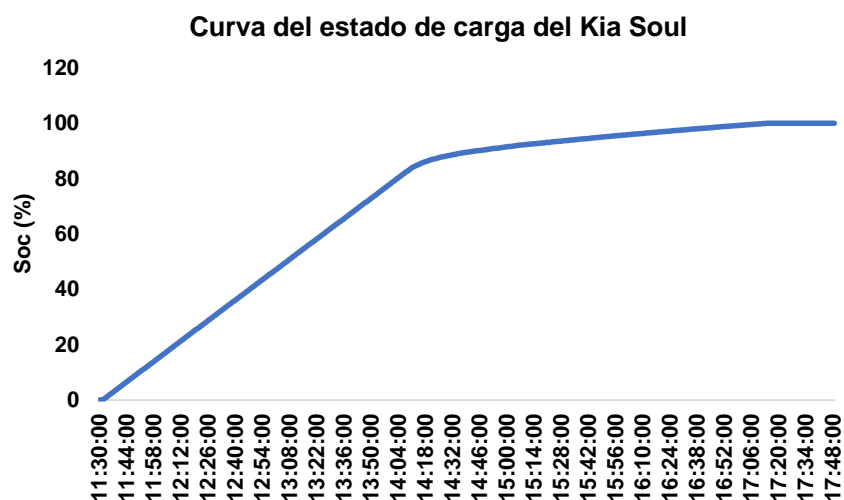


Figura 7. Curva de SoC vs. Tiempo durante la carga del Kia Soul (Fuente: propia).

En la Figura 8 se presenta el proceso de carga, el cual se divide en dos segmentos de curva. La primera que va desde el 0% hasta aproximadamente el 80% presenta una mayor pendiente debido a que es el intervalo donde se aplicó la potencia de 6 kW, lo que permite una acumulación más rápida de energía y, como resultado, una evolución más veloz del estado de carga. En otras palabras, el vehículo se carga de forma más rápida durante este segmento.

Por otra parte, en el segundo segmento de curva que va desde el 80% hasta el 100%, se tiene una pendiente menor a comparación del primer segmento de curva. Esto se debe a que durante este intervalo la potencia aplicada es menor, siendo inferior a 1 kW. Como resultado, la evolución del estado de carga es más lenta, prolongando el tiempo necesario para completar la carga del vehículo.

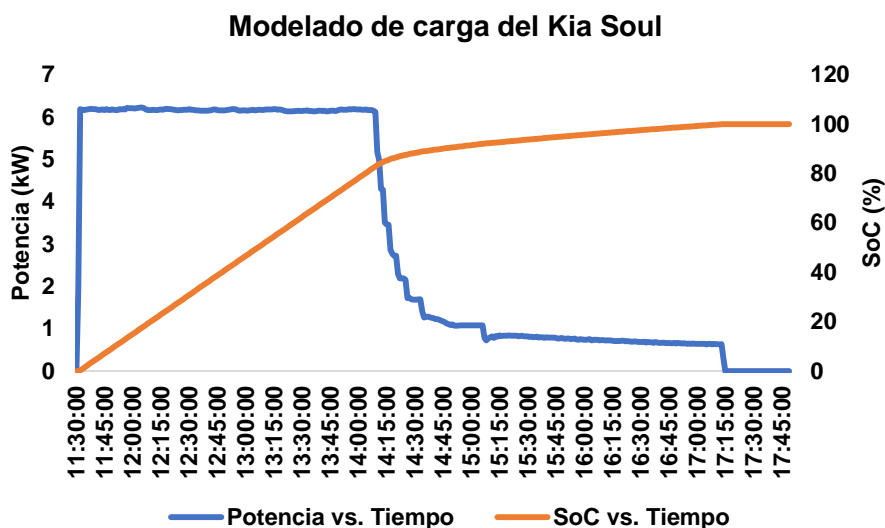


Figura 8. Modelado de carga del Kia Soul (Fuente: propia).

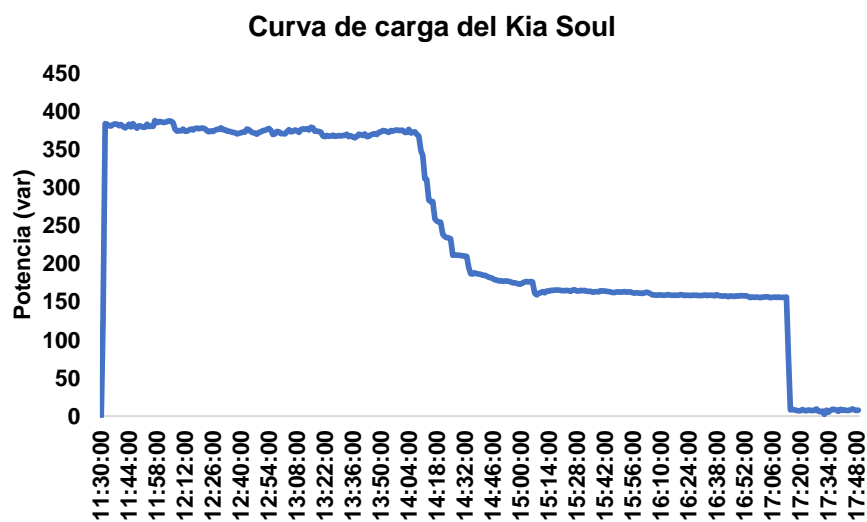


Figura 9. Curva de Potencia Reactiva vs. Tiempo para la carga del Kia Soul (Fuente: propia).

El modelado se ha realizado en base a la potencia activa y reactiva de los dos modelos de vehículos eléctricos. Sin embargo, análisis posteriores se llevarán a cabo considerando



solamente la potencia activa. Los artículos [44] [45] [43] mencionan que los reactivos no son objeto de análisis, ya que por lo general, cuando se cargan los vehículos, la cantidad de reactivos es despreciable en comparación con la potencia activa. Esta Aseveración puede verificarse observando la Figura 5 y la Figura 9, en donde los reactivos son muy bajos, dando a entender que el factor de potencia de los VE es aproximadamente 1.

### 3.2 Red de estudio.

En OpenDss se configuraron los parámetros de la red de bajo voltaje, es decir: los tipos de conductores, estructuras de la red, características del transformador y conexiones entre fases. Los tipos de conductores, estructuras y características del transformador fueron extraídos del catálogo digital de Redes de distribución de Energía Eléctrica [46], escogiendo los modelos más comunes, que se indican en la Tabla 10.

Tabla 10. Características de los parámetros de la red (Fuente: propia).

Parámetro de la red	Código	Descripción
Transformador	TRV0020	Transformador 22 kV 3F conv. 50 kVA en poste [47]
Tipo de conductor	COO0033	Conductor ACSR #2/0 AWG [48]
Tipo de estructuras	4EP	Montaje de Estructura 4 Vías Vertical Pasante [49].
	3EP	Montaje de Estructura 3 Vías Vertical Pasante [49].
	2EP	Montaje de Estructura 2 Vías Vertical Pasante [49].

Además, el simulador presenta la opción de construir la topología de la red, por medio del comando *Buscoords* que permite importar coordenadas UTM. Estas coordenadas fueron exportadas del Geovisor de CentroSur [50]. La topología obtenida se observa en la Figura 10.

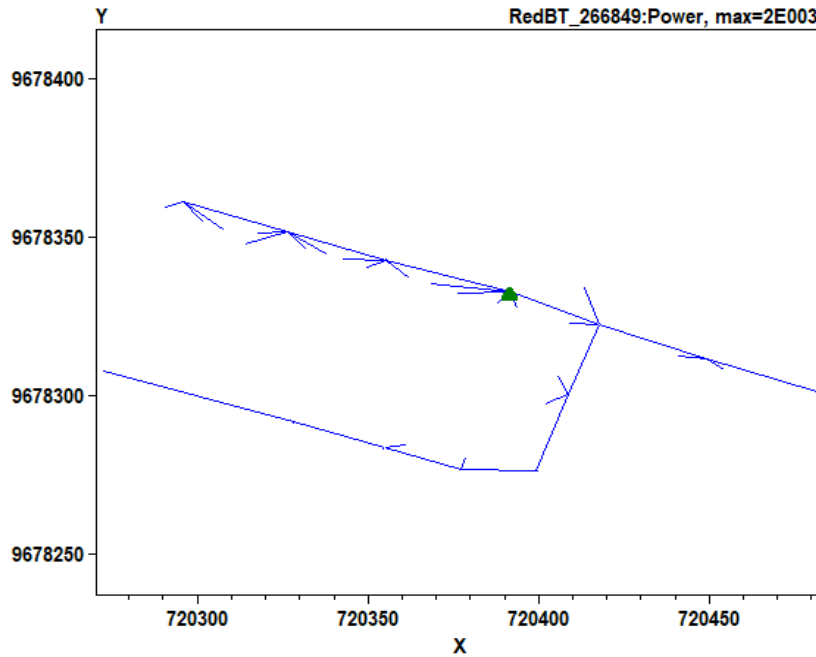


Figura 10. Topología de la red de estudio (Fuente: propia).

Adicionalmente, es necesario disponer de perfiles de demanda que emulen el consumo diario de los clientes. Se extrajo un perfil de demanda residencial del artículo [51] y se lo normalizó en relación a su potencia máxima, el cual se presenta en la Figura 11.

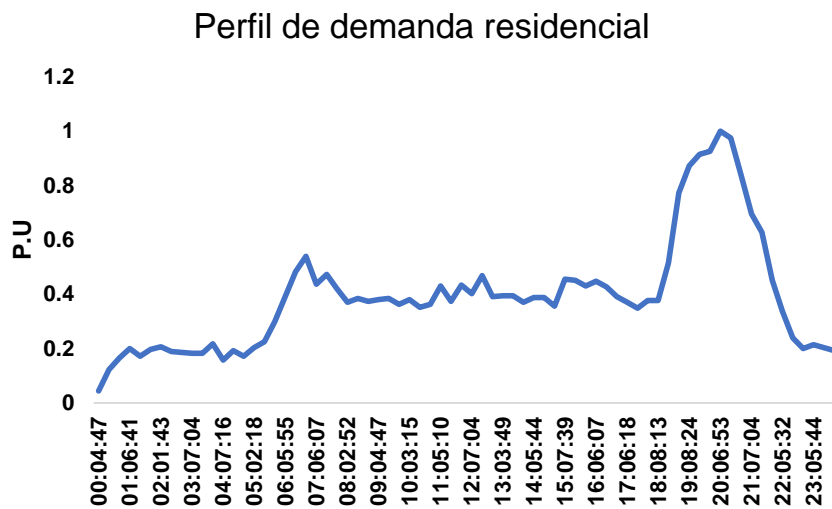


Figura 11. Perfil de demanda residencial normalizada [51].

La Figura 11 representa un perfil de consumo residencial común durante un día con pasos de 10 minutos. El simulador OpenDSS permite ingresar perfiles de carga normalizados utilizando el comando *New Loadshape*. Para ello, es necesario especificar tanto el número de puntos de datos, *npts* (en este caso 144), como el intervalo de tiempo entre estos puntos,

*interval* (10/60 horas). El parámetro *npts* indica el número total de puntos de datos que conforman el perfil de demanda, mientras que *interval* define el tiempo entre cada punto de datos. Este perfil de demanda normalizado se asignó a cada cliente residencial de la red mediante el comando *Daily*.

Más adelante, se presentarán los resultados obtenidos en el Caso Base y luego, a éste, se le incorporarán los perfiles de carga de los VE. El *Loadshape* que se introducirá en el simulador será la suma del perfil de carga residencial y el perfil de carga del VE, por cliente seleccionado.

## **4 Modelamiento de la Inserción de Vehículos Eléctricos y Flujos de Carga**

### **4.1 Modelamiento de la inserción de vehículos eléctricos.**

El modelo de la inserción de VE se programó en el entorno de desarrollo interactivo (IDE) Spyder para Python, el cual viene incluido en la distribución de Anaconda, tomando como principal referencia el algoritmo desarrollado en [45]. El programa desarrollado simula los perfiles de carga de VE en función de ciertos parámetros como el modelo de vehículo, el estado de carga inicial (SoC), y la hora de carga (HoC), para tres niveles de penetración.

Los perfiles de carga obtenidos para cada cliente según el nivel de penetración serán posteriormente ingresados en el modelo de la red, según corresponda, para su análisis en el flujo de carga.

#### **4.1.1 Entradas del programa.**

Las entradas requeridas para la ejecución del programa para la inserción de los VE son: número de clientes, distribución de probabilidad discreta de los modelos de VE, distribución de probabilidad discreta horaria para la carga de VE (HoC), curvas de carga de los modelos de VE, curvas de estado de carga (SoC) de los modelos de VE.

##### **4.1.1.1 Número de clientes.**

El número de vehículos eléctricos en este estudio varía según el nivel de penetración seleccionado, que será del 5%, 10% y 15%, los cuales se eligieron tomando como referencia la primera meta (M1) del Plan de Electromovilidad de Cuenca [52]. El nivel de penetración se refiere al tamaño de la muestra del universo de clientes, elegidos de forma aleatoria, a los que se le asignará un VE.

##### **4.1.1.2 Distribución de probabilidad discreta de los modelos de VE.**

La distribución de probabilidad discreta indica la probabilidad de que a un cliente de la muestra se le asigne un modelo específico de VE de forma aleatoria. En este caso, se tiene una distribución de probabilidad entre dos modelos: el BYD T3 y el Kia Soul. La probabilidad del BYD T3 es de  $\frac{2}{3}$ , lo que significa que hay una mayor probabilidad de que a un cliente de la muestra se le asigne este modelo en comparación con el Kia Soul, cuya probabilidad es de  $\frac{1}{3}$ , como se observa en la Figura 12.

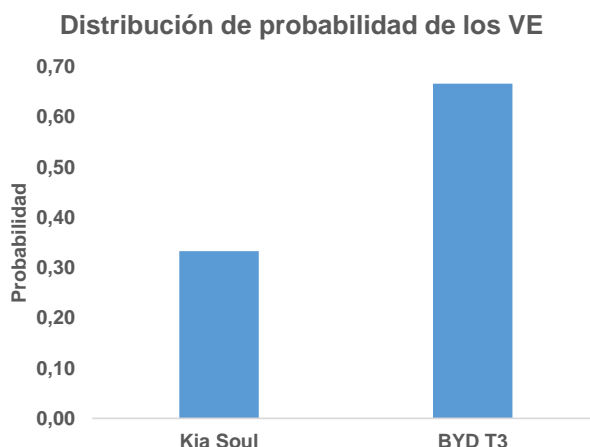


Figura 12. Distribución de probabilidad discreta de los modelos de VE (Fuente: propia).

#### 4.1.1.3 Distribución de probabilidad discreta horaria para la carga de VE (HoC).

La distribución de probabilidad discreta horaria para la carga de VE, señala la probabilidad de que el inicio de la carga comience en un momento específico del día. Estas probabilidades se derivan del estudio realizado por [45] en el área de concesión de la Empresa Eléctrica Quito (E.E.Q.) y se ilustran en la Figura 13.

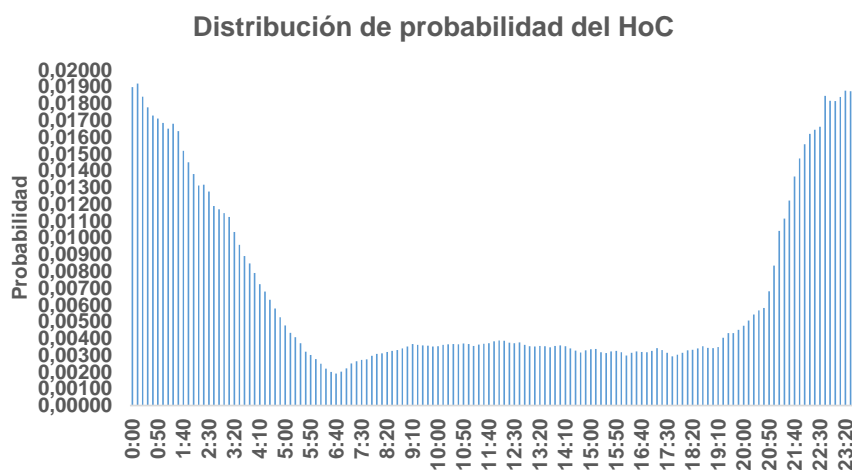


Figura 13. Distribución de probabilidad discreta horaria para la carga de VE (HoC) [45].

#### 4.1.1.4 Curvas de carga de los modelos de VE.

Las curvas de los dos modelos de VE obtenidas anteriormente fueron medidas en días y horas distintas, entonces con el fin de poderlas analizar en conjunto, se optó por graficarlas en función de índices y no de tiempo. Los índices indican la posición de un dato dentro de

su respectiva serie temporal, como se ilustra en la Figura 14. Esto además de ser visualmente más agradable, permitirá hacer comparaciones dentro del Método Montecarlo.

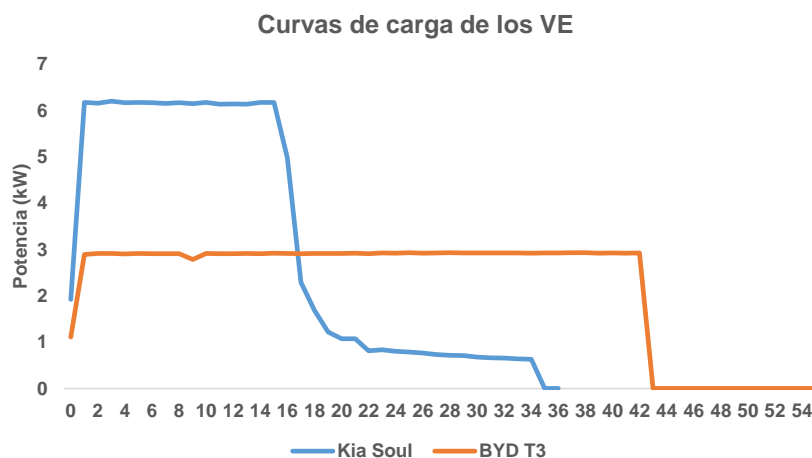


Figura 14. Curvas de carga de los modelos de VE (Fuente: propia).

#### 4.1.1.5 Curvas de estado de carga (SoC) de los modelos de VE.

Al igual que en la sección 4.1.1.4, las curvas de estado de carga (SoC) se graficaron en conjunto en función de índices. Hay que destacar que un modelo en específico de VE tendrá el mismo número de índices tanto en su curva de carga como de SoC; en este sentido, el Kia Soul dispone de 37 índices mientras que el BYD T3 de 56.

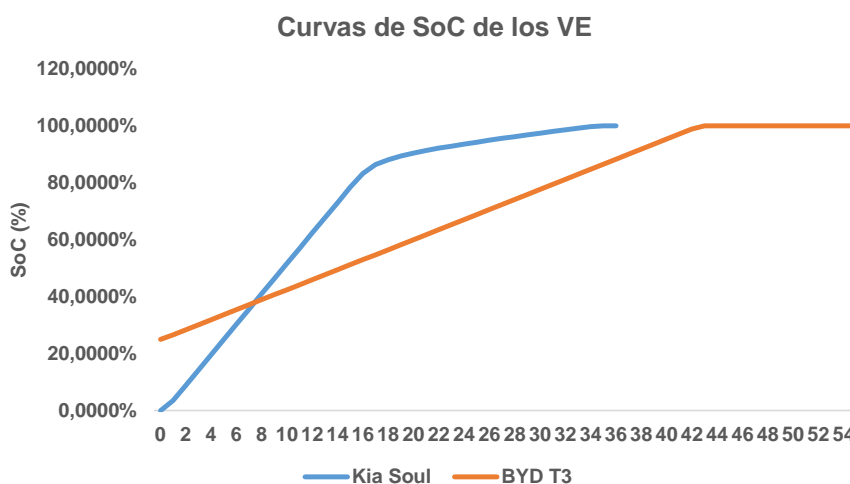


Figura 15. Curvas de estado de carga (SoC) de los modelos de VE (Fuente: propia).

#### 4.1.2 Programación en Python.

Inicialmente, se importan las bibliotecas necesarias para el análisis de datos y la visualización, incluyendo pandas, numpy y matplotlib. Seguidamente se leen los datos de

un archivo Excel que contiene información sobre el número de clientes, la probabilidad discreta de diferentes modelos de vehículos, hora de carga, así como las curvas de carga y estado de carga de los dos modelos de VE.

A continuación, el Método Montecarlo genera perfiles de carga para cada uno de los VE asignados aleatoriamente, por cliente, para cada nivel de penetración. Se compone de 6 etapas.

- i. Asignación de clientes: Se selecciona aleatoriamente una muestra de clientes en función del nivel de penetración.
- ii. Asignación de los parámetros del VE: Para cada cliente seleccionado se elige aleatoriamente: un modelo de vehículo, una hora de carga (HoC) en función de sus respectivas distribuciones de probabilidad discretas y un estado de carga inicial (SoC) entre 0.25 y 0.75. Dicho intervalo se planteó en función de las mediciones realizadas en los dos VE del Laboratorio de Microrred.
- iii. Generación del perfil de carga: En esta etapa, se accede a las curvas de carga y estado de carga del modelo de vehículo seleccionado para crear un perfil de carga específico. Este perfil de carga representa la demanda de potencia necesaria para cargar completamente la batería interna del vehículo. Para lograr esto, se ajusta la curva de carga original del modelo para que coincida con la cantidad de potencia requerida. El perfil de carga resultante comienza en el momento de carga (HoC) seleccionado previamente.
- iv. Almacenamiento de resultados: Se almacenan los perfiles de carga generados, así como la información sobre los clientes y los modelos de vehículos asignados a cada uno de los clientes.
- v. Exportación de resultados: Se exportan los perfiles de carga generados en un archivo Excel con nombres de hojas de cálculo correspondientes a cada cliente y modelo de vehículo.
- vi. Visualización de perfiles de carga: Se visualizan los perfiles de carga generados para cada nivel de penetración.

Para ilustrar de manera más clara el proceso descrito, se realizará una iteración del Método Montecarlo. Suponiendo que a un cliente se le asigna un BYD T3, una hora de carga (HoC) a las 13:00 y un estado de carga inicial (SoC) del 60%. En la curva del SoC, se identifican los índices correspondientes a estados de carga superiores al 60%, ya que solo es necesario cargar el 40% restante para alcanzar el 100% de la capacidad de la batería, siendo estos desde el 21 al 56. Estos índices se localizan en la curva de carga para

determinar la porción de la curva restante necesaria para alcanzar el 100% de carga del VE, como se muestra en la Figura 16.

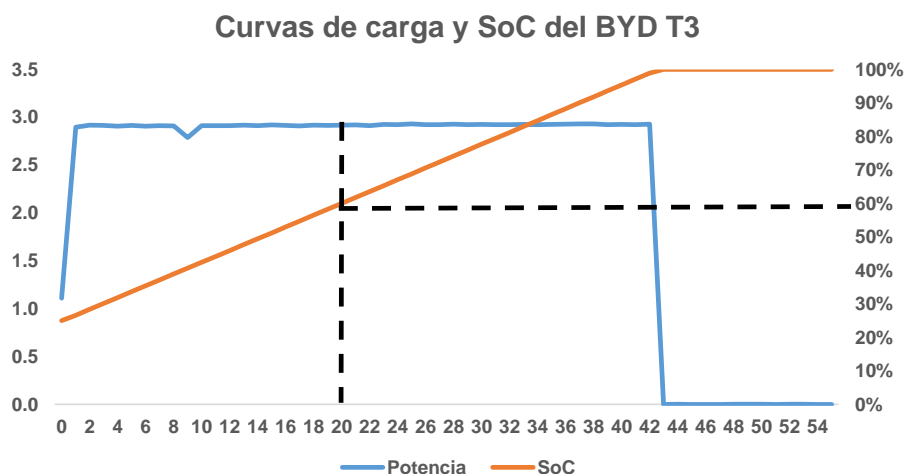


Figura 16. Identificación de índices de la curva del SoC que correspondieran a estados de carga superiores al 60%, los cuales permitirán obtener la porción de curva de carga necesaria para cargar el VE al 100% (Fuente: propia).

Una vez identificados estos índices, se genera una nueva curva de carga en función de ellos. Luego, esta curva restante se convierte en una serie temporal de 144 datos, correspondientes a un día con intervalos de 10 minutos, siendo el primer dato el correspondiente al HoC asignado. De esta manera, se obtiene el perfil de carga para el cliente que se muestra en la Figura 17.

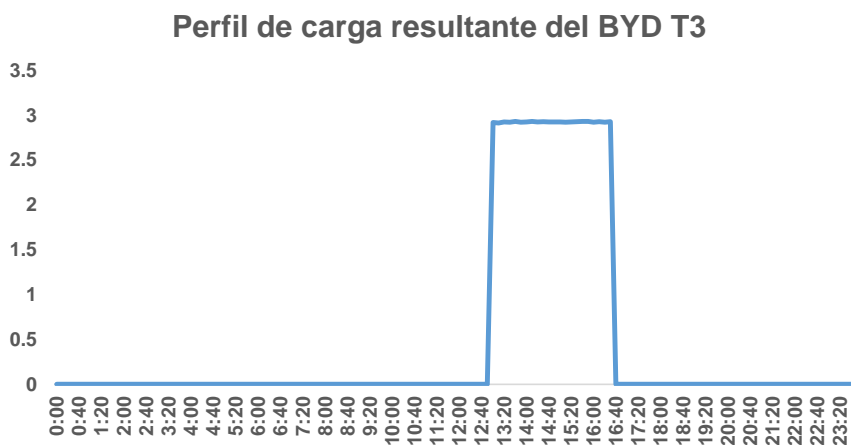


Figura 17. Perfil de carga resultante del BYD T3 asignado a un cliente cualquiera (Fuente: propia).



Este proceso se repite para cada uno de los clientes asignados en cada nivel de penetración. Para proporcionar una mejor comprensión del algoritmo, en el Anexo A se presenta el diagrama de flujo, mientras que el código completo se detalla en el Anexo B.

#### 4.1.3 Perfiles de carga obtenidos.

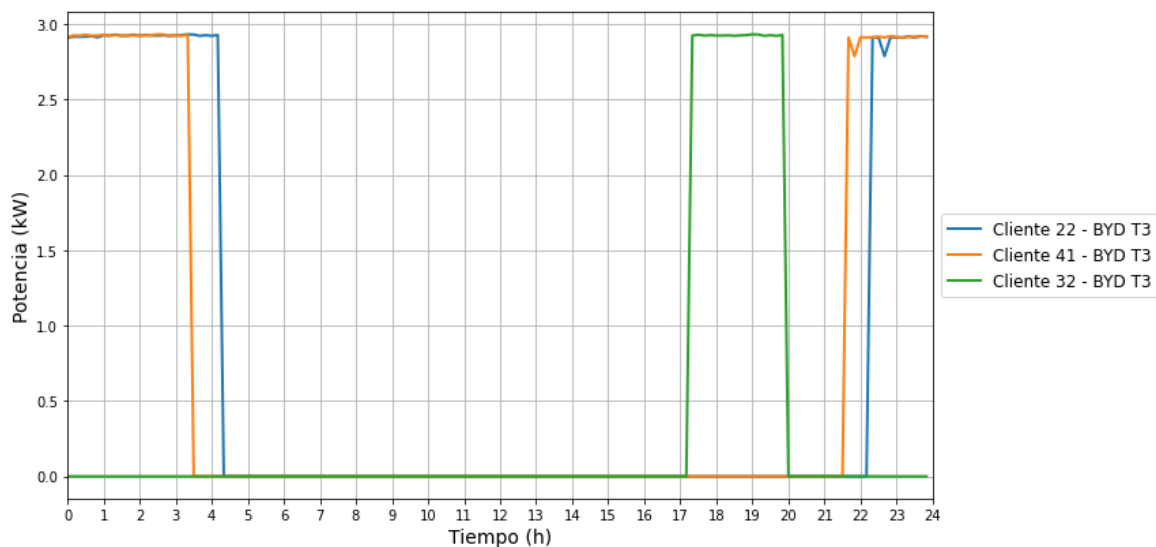


Figura 18. Perfiles de carga de VE con un nivel de penetración del 5% (Fuente: propia).

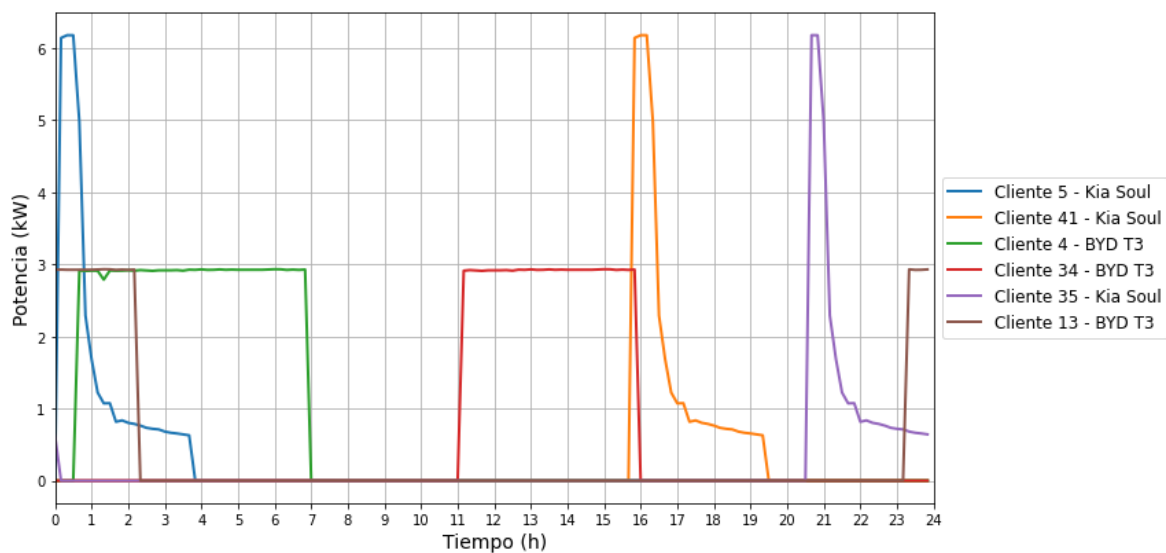


Figura 19. Perfiles de carga de VE con un nivel de penetración del 10% (Fuente: propia).

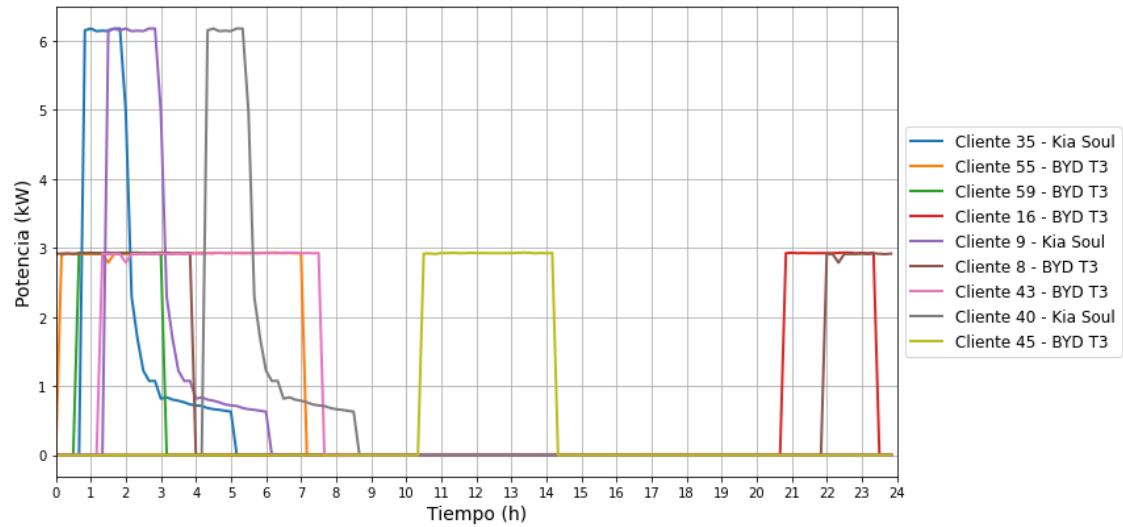


Figura 20. Perfiles de carga de VE con un nivel de penetración del 15% (Fuente: propia).

#### 4.2 Flujos de carga.

Para registrar los datos, se utilizó el comando *New Monitor*, que se colocó tanto en el devanado secundario del transformador como en las barras de cada uno de los clientes.

- Para el transformador, se emplearon tres monitores, que registraron la demanda, el voltaje y el flicker.
- Para los clientes, se utilizó un monitor por cada uno, el cual registró los voltajes.

Para simular los flujos de carga como series temporales, se configuró la simulación en modo diario con un intervalo de 10 minutos, realizando un total de 144 pasos de tiempo para cubrir las 24 horas del día. Las series temporales registradas por los monitores se exportaron como archivos de valores separados por coma (.csv) los cuales se analizaron uno por uno para el cálculo de los índices de la calidad del producto.

## 5 Resultados y Discusión

### 5.1 Caso Base.

En el escenario base, todos los parámetros evaluados, como el nivel de voltaje, el flicker y el desequilibrio de voltaje, se mantienen dentro de los límites aceptables, tal como se detalla en el Anexo C, Anexo G y Anexo K, respectivamente.

La evaluación del impacto de los VE en la red de distribución se aborda a continuación, donde se compara el Caso Base con diferentes escenarios de penetración. Esta comparación se realiza con el objetivo de observar cómo los indicadores se ven afectados por la incorporación de los VE.

Además, para completar el análisis del Caso Base, se incluye un subtema dedicado a la demanda. Este subtema aborda en detalle las características y el comportamiento de la demanda en la red de distribución antes de la penetración de los VE, para tener una mejor comprensión de las condiciones iniciales de la red de estudio.

#### 5.1.1 Demanda.

La Figura 21 muestra la curva de demanda para el Caso Base, se observa que es un perfil residencial común, mostrando sus picos entre las 18:00 y 21:00. La demanda total durante las 24 horas es de 17.2755 kW, produciendo una energía de 414.61 kWh.

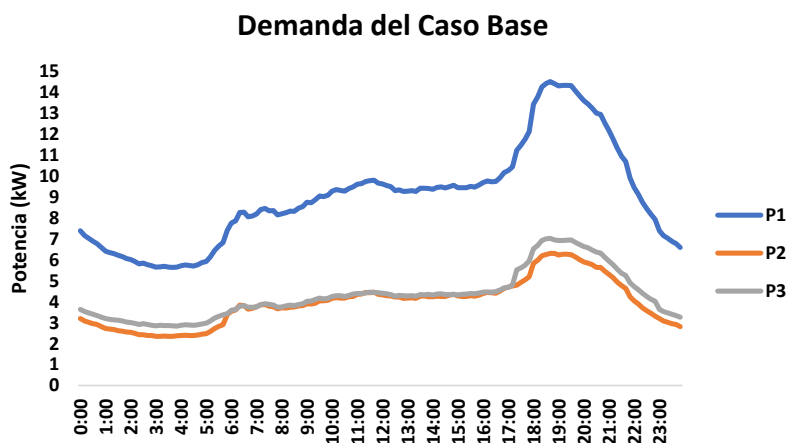


Figura 21. Demanda del transformador para el Caso Base (Fuente: propia).

Inicialmente el pico de la demanda se presenta a las 18:40, dando un valor total de 27.87232 kW, resultando en un factor de utilización de 0.586785, es decir, durante su demanda máxima la cargabilidad del transformador es del 58.6785 %. A continuación, en la Figura 22 se presenta la evolución de la demanda total durante el transcurso del día en relación a

la capacidad del transformador de distribución, donde en ningún momento el mismo está sobrecargado, por lo que está en la capacidad de suministrar energía a los VE en los escenarios posteriores.

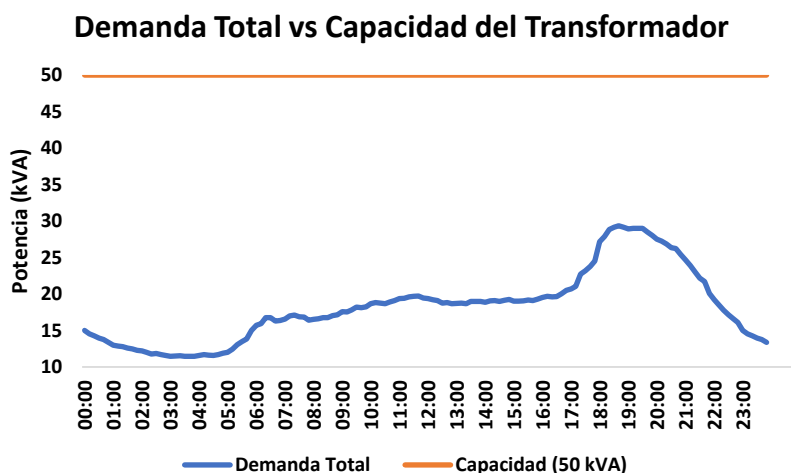


Figura 22. Demanda Total vs Capacidad del Transformador (Caso Base) (Fuente: propia).

## 5.2 Nivel de penetración del 5%.

### 5.2.1 Demanda.

La demanda de la Figura 23 es ligeramente distinta a la obtenida en la Figura 21 para el Caso Base. En este caso la demanda es 18.9847 kW para un horizonte de un día, lo cual implica una energía consumida de 455.6337 kWh. Esta nueva demanda representa un incremento del 9.894% respecto al Caso Base.

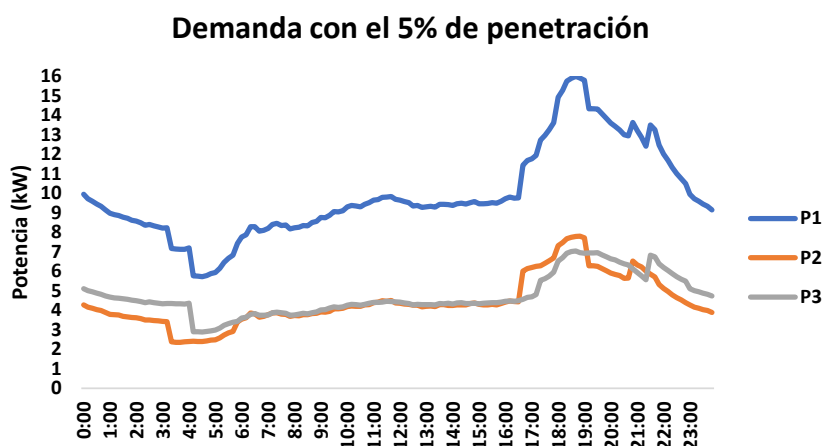


Figura 23. Demanda del transformador para un 5% de penetración (Fuente: propia).

Para este nivel de penetración, el pico de demanda se mantiene a las 18:40 debido principalmente a la inclusión de un número limitado de vehículos (Figura 18). Algunos de estos vehículos se añadieron durante las horas de menor demanda, mientras que otros se sumaron durante el pico de demanda del Caso Base. Esta situación provocó un aumento en la demanda máxima, que pasó de 27.87232 kW a 30.82803 kW, representando un incremento del 10.6045%. Con esta nueva demanda máxima, se tiene un factor de utilización de 0.649011, es decir, el transformador se encuentra cargado al 64.6911% de su capacidad nominal de 50 kVA durante el instante de demanda máxima.

En la Figura 24 se muestra la variación de la demanda total en relación con la capacidad del transformador. Se observa que el transformador está operando dentro de límites seguros, sin sobrecargarse. Por lo tanto, se puede concluir que la capacidad del transformador es adecuada para satisfacer las necesidades energéticas de los VE considerados.

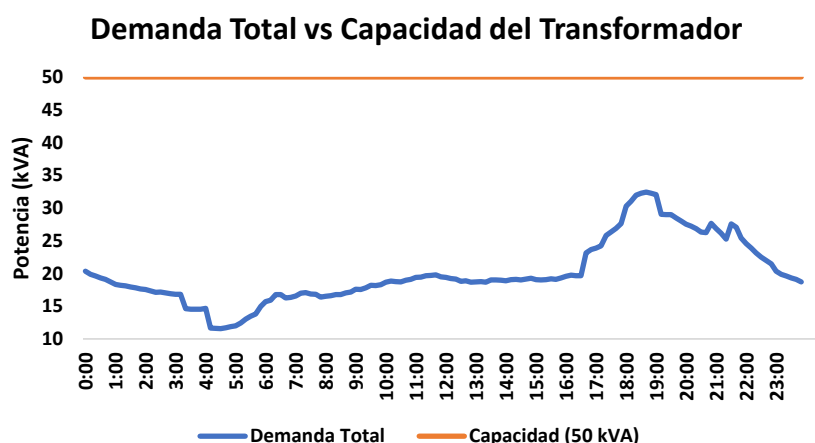


Figura 24. Demanda Total vs Capacidad del Transformador (5% de penetración) (Fuente: propia).

### 5.2.2 Nivel de voltaje.

Al agregar los perfiles de carga de la Figura 18 a cada cliente correspondiente y ejecutar los flujos de carga, se observó que todos los niveles de voltaje de los clientes se mantuvieron dentro del rango permitido de  $\pm 8\%$ , como se muestra en el Anexo D. Esto implica que la variación del voltaje de suministro con respecto al voltaje nominal es adecuada.

Una comparación adicional que se puede realizar para los clientes a los que se asignaron VE es evaluar cuánto cambió el nivel de voltaje antes y después de la inserción de los

vehículos. Por esta razón, en la Figura 25 y la Figura 26 se muestra la evolución del nivel de voltaje en las fases 1 y 2, respectivamente, de dichos clientes. Al haberse generado perfiles de carga para el mismo modelo de vehículo eléctrico (BYD T3), se evidencia que el nivel de voltaje se incrementa de manera similar en cada cliente por fase. Sin embargo, es claro que la inserción de los VE ha provocado caídas de tensión en cada una de las acometidas de los clientes asignados.

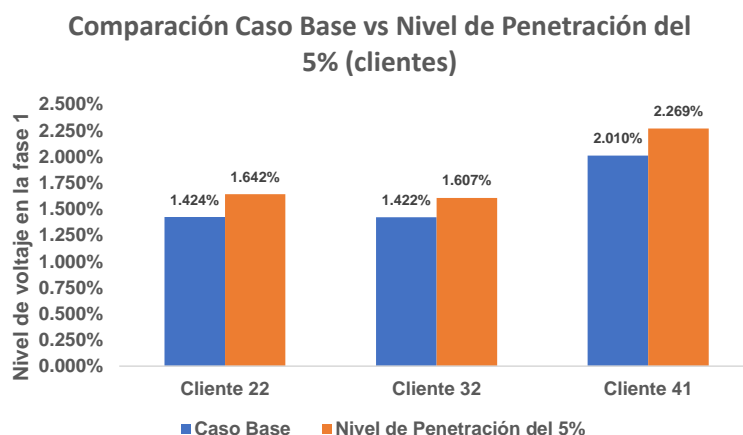


Figura 25. Nivel de voltaje en la fase 1 para clientes con un nivel de penetración del 5% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).

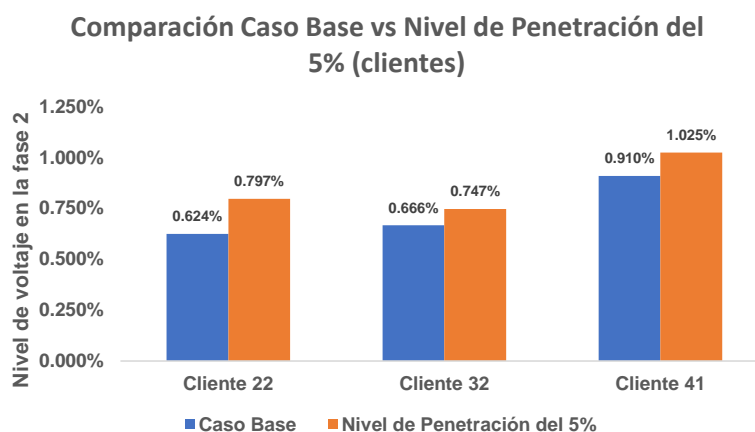


Figura 26. Nivel de voltaje en la fase 2 para clientes con un nivel de penetración del 5% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).

Finalmente, en la Figura 27 se muestra el cambio del nivel de voltaje en el transformador de distribución respecto al Caso Base. A pesar de que los perfiles de carga son entre las fases 1 y 2, esto impacta a toda la red, es por esto que la fase 3 también se ve alterada.

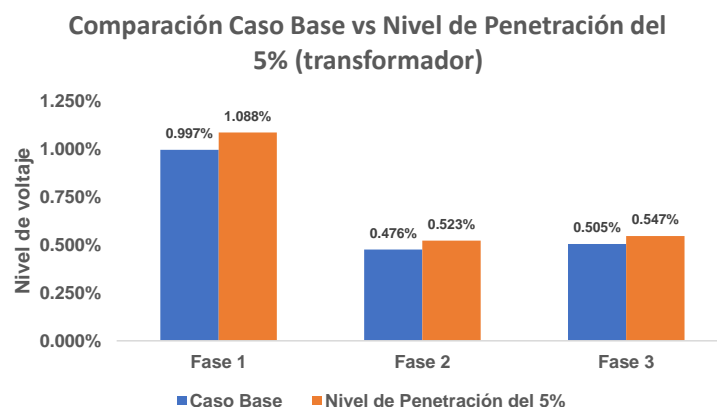


Figura 27. Nivel de voltaje en el transformador con un nivel de penetración del 5% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).

### 5.2.3 Flicker.

El índice de severidad de flicker por corta duración se presenta en el Anexo H, que de acuerdo al numeral 2.5.2.2 no debe superar a la unidad. Para realizar una comparación con el Caso Base se calculó su promedio, obteniendo la siguiente Figura 28. En esta se evidencia que la incorporación de VE ha incrementado el índice de severidad de flicker de corta duración en todas las fases del transformador. Si bien este incremento es relativamente grande con relación al Caso Base, está muy por debajo de la unidad, por lo que prácticamente la calidad del suministro eléctrico y el confort de los usuarios no se verá afectado.

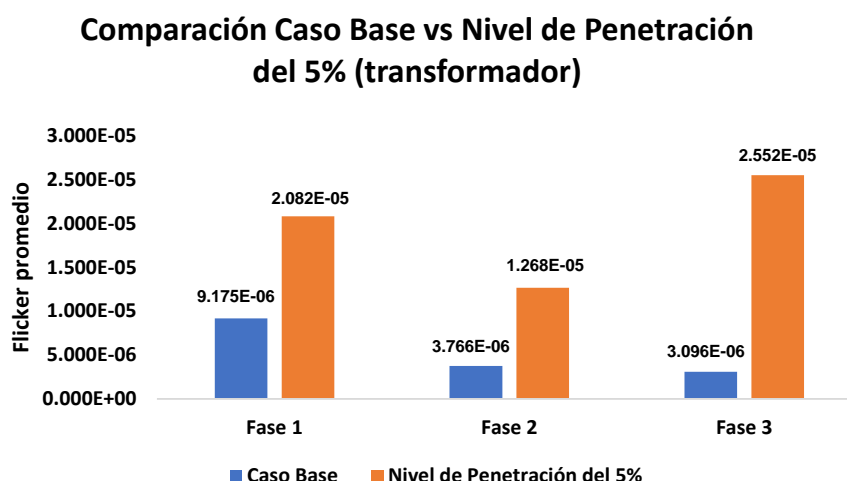


Figura 28. Flicker promedio en el transformador con un nivel de penetración del 5% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).

#### 5.2.4 Desequilibrio de voltaje.

El desequilibrio de voltaje se presenta en el Anexo L, donde se muestra el cálculo del mismo en intervalos de 10 minutos, observando que en cada uno de ellos el valor es menor al 2%, cumpliendo así con la norma. Para comparar con el Caso Base, se calculó el promedio, obteniendo la Figura 29. Los resultados indican que la inserción de VE ha aumentado el valor del desequilibrio de voltaje en el transformador. Este escenario presenta una ligera variación en comparación con el Caso Base, pero su incremento es relativamente bajo, para creer que existe un impacto significativo para el desequilibrio de voltaje.

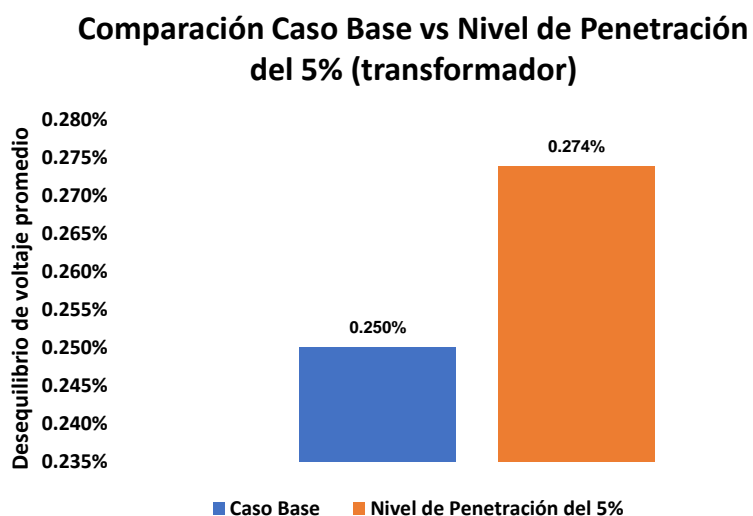


Figura 29. Desequilibrio de voltaje promedio en el transformador con un nivel de penetración del 5% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).

### 5.3 Nivel de penetración del 10%.

#### 5.3.1 Demanda.

En la Figura 30 se presenta la curva de demanda del transformador para un nivel de penetración del 10%, lo cual indica algunas variaciones respecto a la del Caso Base de la Figura 21. En este caso la demanda ha subido a 20.0033 kW representando un aumento del 15.79%, esta nueva demanda implica un consumo energético diario de 480.080134 kWh.



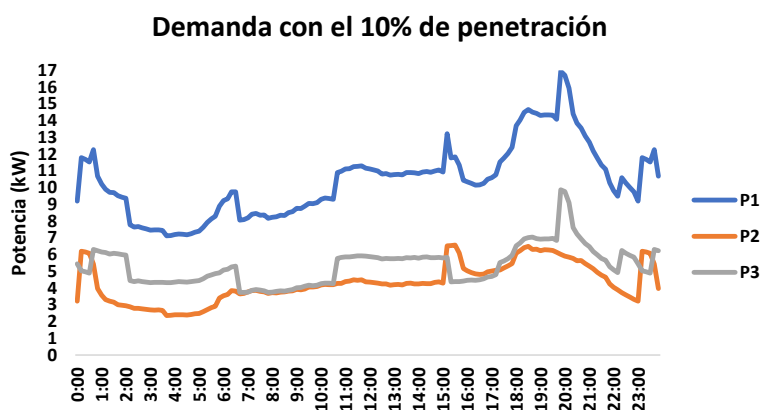


Figura 30. Demanda del transformador para un 10% de penetración (Fuente: propia).

Al haber sido incorporados más vehículos que en el caso del 5% de penetración, la curva de demanda experimenta nuevos picos locales, como los que se ven desde las 23:00-01:00 05:00-07:00 y de 15:00-16:00. Es por esto, que la forma de la curva de demanda no se mantiene como en dicho caso, esto resulta evidente al observar las horas en las que se generaron los perfiles de carga de la Figura 19. Además, el pico absoluto de demanda en este nivel ocurrió a las 19:50, alcanzando una demanda máxima de 32.83497 kW. Esto representa un aumento del 17.8049% con respecto a la demanda máxima registrada en el Caso Base (27.87232%). Además, el factor de utilización ha cambiado a 0.691262, indicando que el transformador se encuentra cargado al 69.1262% de su capacidad nominal durante el instante de demanda máxima.

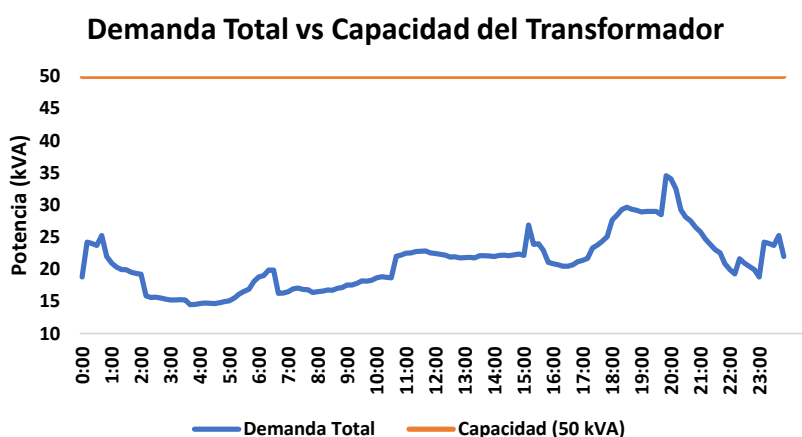


Figura 31. Demanda Total vs Capacidad del Transformador (10% de penetración)  
(Fuente: propia).

En la Figura 31, por otra parte, se presenta cómo ha variado la demanda total en relación a su capacidad nominal. Al igual que en el nivel pasado de penetración, el transformador se encuentra en sus límites seguros de operación, por lo que el transformador puede tranquilamente suministrar energía eléctrica a los VE considerados en este nivel. La cargabilidad ha incrementado, sin embargo, se considera que no es motivo de preocupación.

### 5.3.2 Nivel de voltaje.

Al incorporar los perfiles de carga de la Figura 19 a cada cliente correspondiente y ejecutar los flujos de carga, se constató que todos los niveles de voltaje de los clientes permanecieron dentro del rango permitido de  $\pm 8\%$ , como se indica en el Anexo E. Esto sugiere que la variación del voltaje de suministro respecto al voltaje nominal es adecuada, aunque es ligeramente mayor al del nivel de penetración del 5%.

En la Figura 32 y Figura 33 se presenta la variación de los niveles de voltaje en las dos fases de los clientes asignados, comparando estos resultados con los del Caso Base. En este caso, debido a los perfiles de carga variados, las variaciones en el nivel de voltaje no son uniformes, a diferencia de lo observado en el nivel del 5%. Al incorporar estas nuevas cargas, el voltaje de suministro para todos los clientes de la red se ve disminuido de alguna manera.

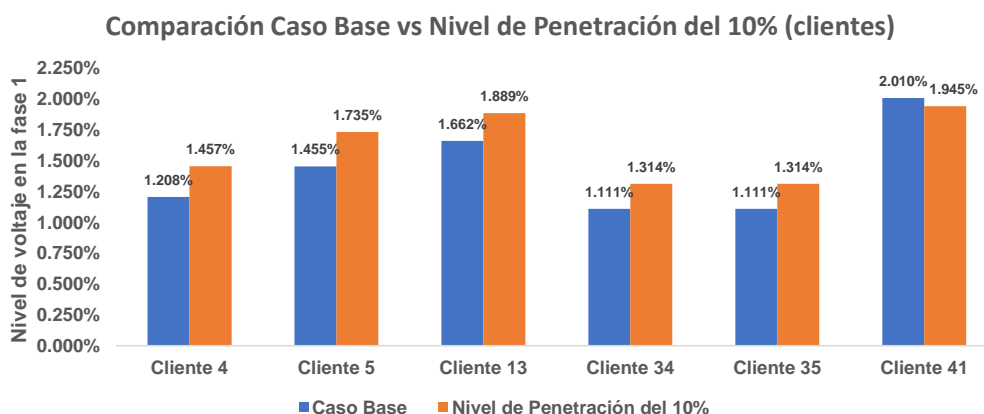


Figura 32. Nivel de voltaje en la fase 1 para clientes con un nivel de penetración del 10% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).

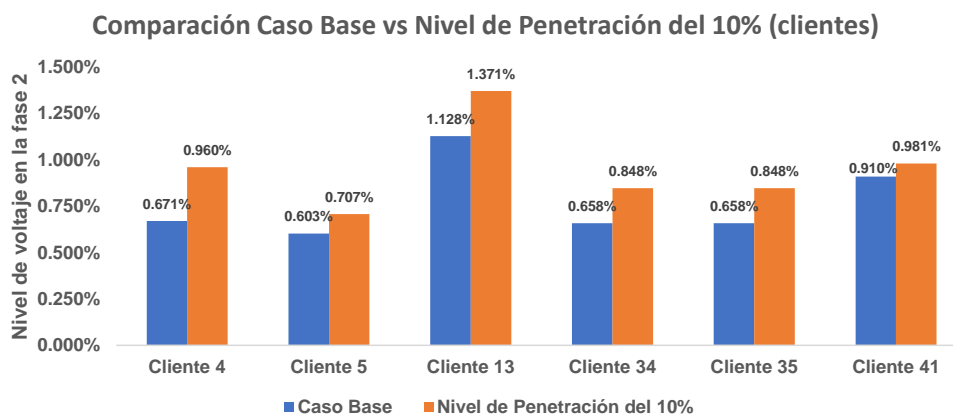


Figura 33. Nivel de voltaje en la fase 2 para clientes con un nivel de penetración del 10% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).

En el transformador se ve de una manera más objetiva el cambio del nivel de voltaje, como lo ilustra la Figura 34. En todas las fases se cumple la norma y las variaciones no son alarmantes. Al igual que en el escenario del 5%, todas las fases se ven afectadas a pesar de que los perfiles de carga son bifásicos.

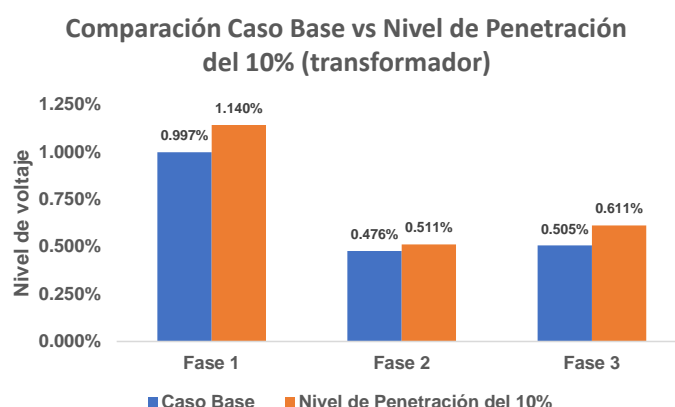


Figura 34. Nivel de voltaje en el transformador con un nivel de penetración del 10% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).

### 5.3.3 Flicker.

El índice de severidad de flicker de corta duración se presenta en el Anexo I, donde se indica que, en cada intervalo de 10 minutos, el flicker es menor a uno. Para comparar con el Caso Base, se calculó el promedio, obteniendo la Figura 35. Esta muestra que la inserción de VE ha aumentado el índice de severidad de flicker de corta duración en todas las fases del transformador. Aunque este incremento es notable en comparación con el Caso Base, y del nivel de penetración del 5%, sigue siendo muy bajo respecto a la unidad.

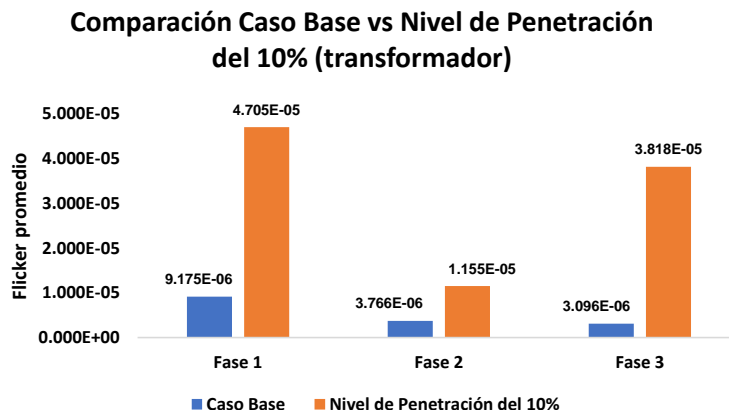


Figura 35. Flicker promedio en el transformador con un nivel de penetración del 10% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).

#### 5.3.4 Desequilibrio de voltaje.

El desequilibrio de voltaje se presenta en el Anexo M, donde se muestra el cálculo de este en intervalos de 10 minutos, observando que en cada uno de ellos el valor es menor al 2%, cumpliendo con la norma. Para comparar con el Caso Base, se calculó el promedio, obteniendo la Figura 36. Esta muestra que la inserción de VE ha aumentado el valor del desequilibrio de voltaje en el transformador. Este escenario presenta mayor variación en comparación con el nivel de penetración de 5%, pero su incremento sigue siendo bajo por lo que el impacto sigue siendo no significativo.

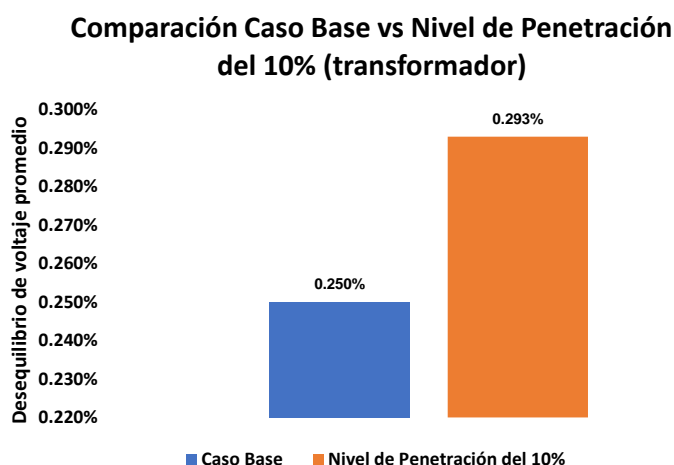


Figura 36. Desequilibrio de voltaje promedio en el transformador con un nivel de penetración del 10% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).

## 5.4 Nivel de penetración del 15%.

### 5.4.1 Demanda.

En la Figura 37 se observa un claro cambio de la curva de demanda en comparación con la Figura 21, el aumento de la demanda es notable, donde su valor asciende a los 24.5867 kW, produciendo una energía de 590.081413 kWh, teniendo un aumento del 42.3212% en comparación al Caso Base.

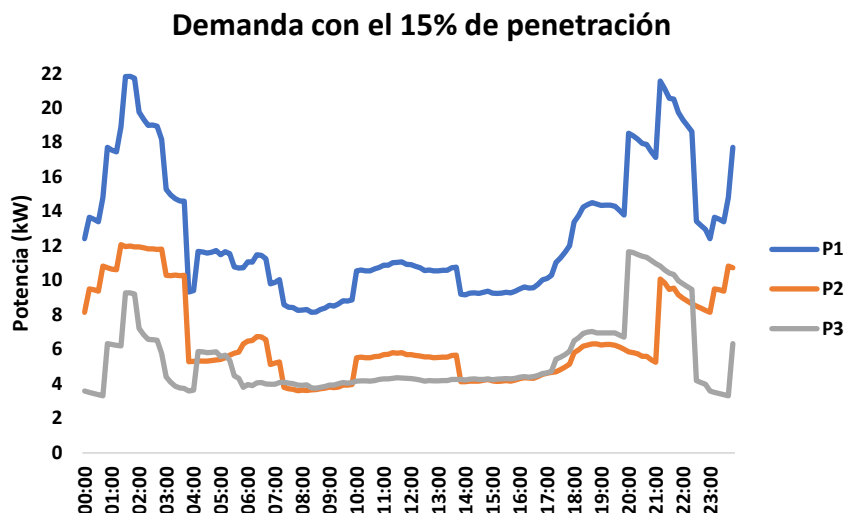


Figura 37. Demanda del transformador para un 15% de penetración (Fuente: propia).

Estos cambios en la curva, producen la variación de las horas en los que se producen los picos de demanda. En la Figura 37 se observa que los picos se producen aproximadamente entre los intervalos de 19:00 - 22:00 y 00:00 - 03:00, este comportamiento se debe netamente a los VE ya que la mayor probabilidad de carga de estos son durante horas de la noche y madrugada (Figura 20).

Otro cambio es en la demanda máxima del transformador y su cargabilidad, inicialmente en el Caso Base la demanda máxima fue a las 18:40. Ahora ocurre a la 01:40 donde su valor es de 43.11582 kW, teniendo un incremento del 54.6904 %. Este incremento de la demanda máxima provoca un aumento del factor de utilización, dando un valor de 0.907701, es decir, durante el periodo de demanda máxima el transformador está cargado un 90.7701%.

En la Figura 38 se presenta la evolución de la demanda total durante el día, comparando con el Caso Base. El cambio es significativo, se observa que en varios periodos la carga excede los 40 kVA, es decir, que su cargabilidad excede el 80%, llegando hasta el valor máximo que es del 90.7701% en el periodo de demanda máxima.

Estos valores ya son motivo de preocupación, ya que en el Caso Base la cargabilidad nunca excedió el 60%, mientras que en este escenario aumenta de forma notable la cargabilidad del transformador, dando la posibilidad de que si ingresan más VE, el transformador entre en un estado de sobrecarga. No obstante, de momento el transformador sí está en la capacidad de abastecer a todos los VE considerados para este nivel de penetración.

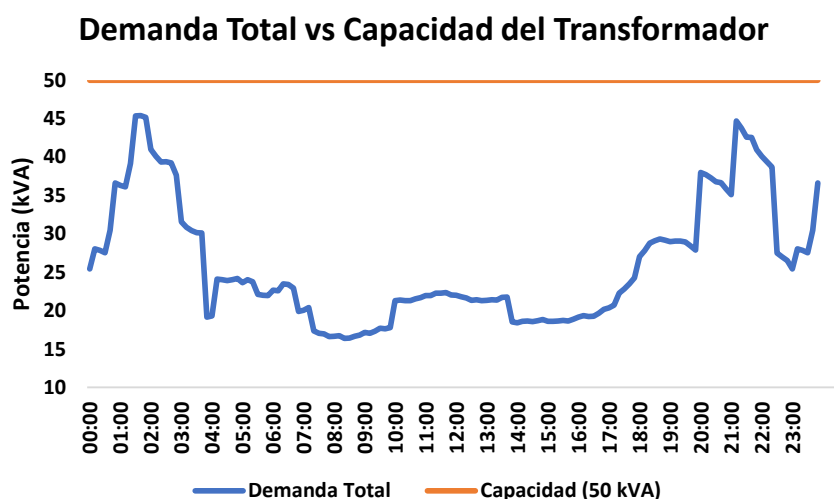


Figura 38. Demanda Total vs Capacidad del Transformador (15% de penetración)  
(Fuente: propia).

#### 5.4.2 Nivel de voltaje.

Al incorporar los perfiles de carga de la Figura 20 a cada cliente correspondiente y ejecutar los flujos de carga, se constató que todos los niveles de voltaje de los clientes permanecieron dentro del rango permitido de  $\pm 8\%$ , como se indica en el Anexo F. Esto sugiere que la variación del voltaje de suministro respecto al voltaje nominal es adecuado, aunque este escenario presenta las mayores caídas de voltaje en comparación a los escenarios del 5% y 10%.

En la Figura 39 y la Figura 40 se presenta la variación de los niveles de voltaje en las dos fases de los clientes asignados, comparando estos resultados con los del Caso Base. Ahora, debido a los perfiles de carga variados y la alta demanda de VE en comparación a los casos anteriores, las variaciones en el nivel de voltaje no son uniformes, además de que la diferencia con el Caso Base es mayor en comparación con el nivel de 5% y 10%. Al incorporar estas nuevas cargas, este escenario es el que presenta mayores caídas de voltaje.

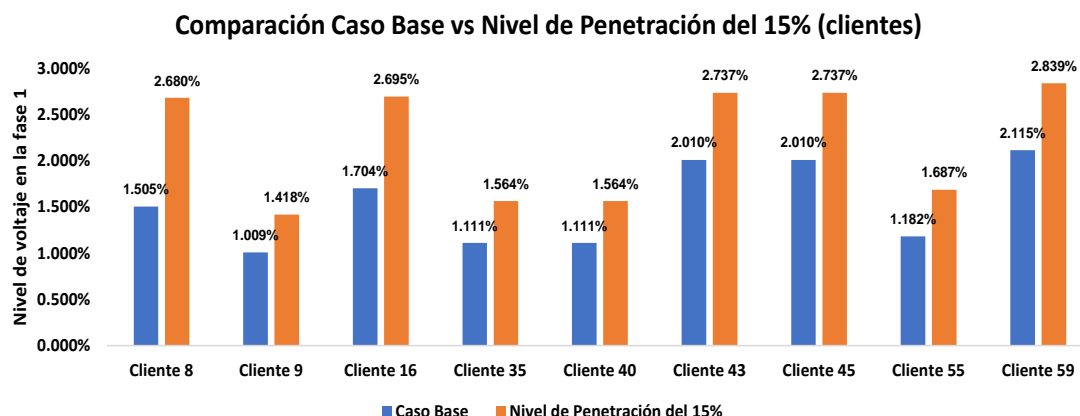


Figura 39. Nivel de voltaje en la fase 1 para clientes con un nivel de penetración del 15% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).

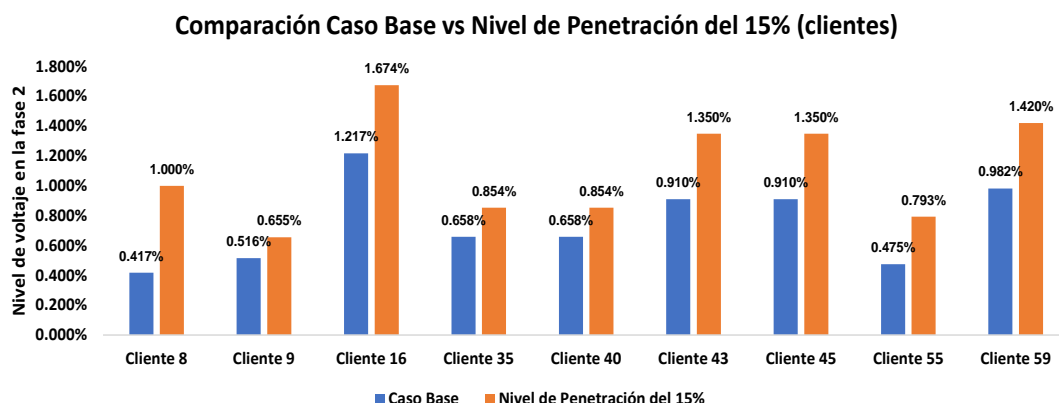


Figura 40. Nivel de voltaje en la fase 2 para clientes con un nivel de penetración del 15% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).

En el transformador se tiene una mejor visión del cambio del nivel de voltaje, como lo ilustra la Figura 41. En todas las fases se cumple la norma y las variaciones no son alarmantes. Al igual que para cada cliente, este escenario es el que presenta mayores variaciones de voltaje.

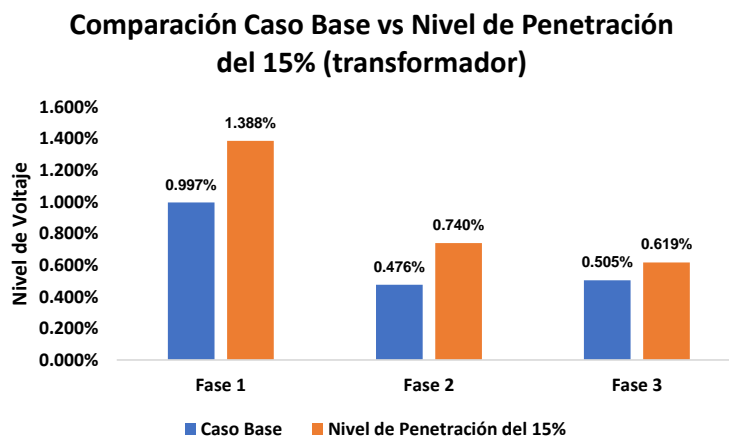


Figura 41. Nivel de voltaje en el transformador con un nivel de penetración del 15% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).

#### 5.4.3 Flicker.

El índice de severidad de flicker de corta duración se presenta en el Anexo J, donde se indica que, en cada intervalo de 10 minutos, el flicker es menor a uno. Para comparar con el Caso Base, se calculó el promedio, obteniendo la Figura 42. Esta muestra que la inserción de VE ha aumentado el índice de severidad de flicker de corta duración en todas las fases del transformador. Este escenario es el que presenta mayor variación en comparación a los casos anteriores; sin embargo, sigue siendo bajo, sin llegar a la unidad.

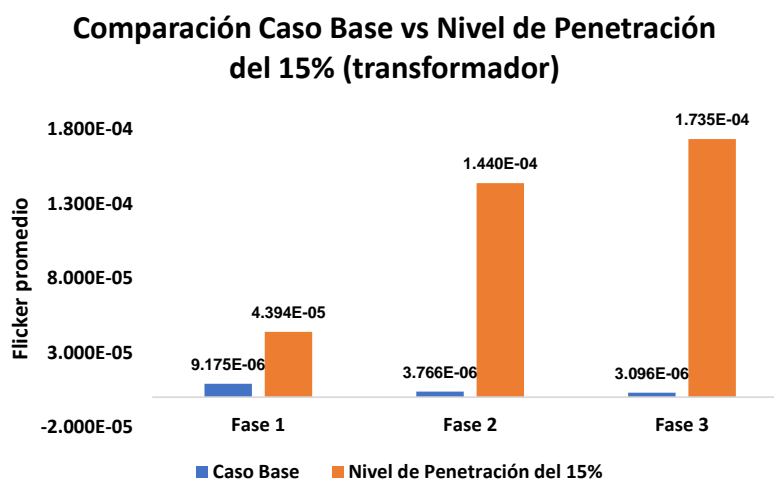


Figura 42. Flicker promedio en el transformador con un nivel de penetración del 15% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).



#### 5.4.4 Desequilibrio de voltaje.

El desequilibrio de voltaje se presenta en el Anexo N, donde se muestra el cálculo de este en intervalos de 10 minutos, observando que en cada uno de ellos el valor es menor al 2%, cumpliendo con la norma. Para comparar con el Caso Base, se calculó el promedio, obteniendo la Figura 43. Esta muestra que la inserción de VE ha aumentado el valor del desequilibrio de voltaje en el transformador. Este escenario es el que presenta mayor variación en comparación a los casos anteriores; no obstante, sigue siendo poco significativo, por lo que no existe mayor impacto en el desequilibrio de voltaje en el transformador.

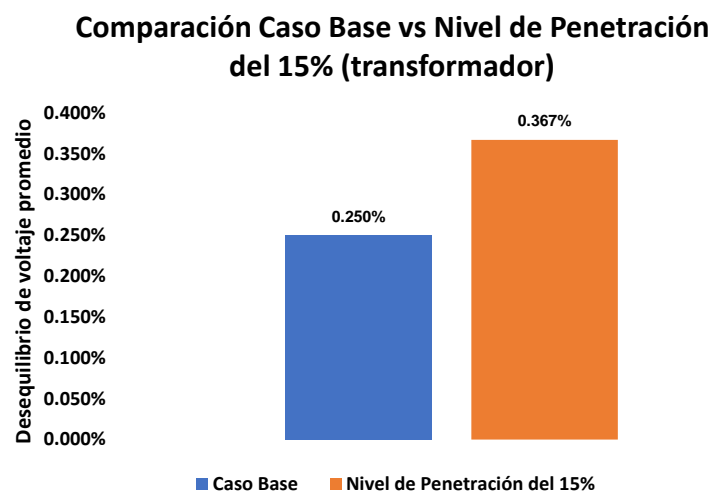


Figura 43. Desequilibrio de voltaje promedio en el transformador con un nivel de penetración del 15% en comparación con el Caso Base (Fuente: propia).

## 6 Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1. Conclusiones.

Las curvas de carga y de estado de carga del BYD T3 y el Kia Soul fueron obtenidas a través del analizador de calidad de energía PowerPad® III Modelo 8333. Ambas curvas son de naturaleza bifásica y fueron usadas como parte de los insumos principales para el programa de inserción de VE para generar los perfiles de carga para los tres niveles de penetración contemplados.

Para la modelación de la red en OpenDSS, se seleccionó un tramo de bajo voltaje de la ciudad de Cuenca. Los criterios de selección fueron: una cantidad significativa de clientes (62), la potencia del transformador más común en la ciudad de Cuenca (50 kVA) y su ubicación en la zona urbana para facilitar posibles inspecciones. Establecidos los criterios y seleccionada la red de estudio, se construyó una red modelo, realizando varias aproximaciones. Estas incluyeron datos del transformador, datos de conductores y estructuras. Además, se modeló la topología de la red, para finalmente asignar un perfil de demanda residencial a cada cliente, con el fin de representar de una manera más adecuada el consumo energético en la zona urbana seleccionada.

Los tres niveles de penetración implican que, del universo de clientes atendidos por el transformador, al 5%, 10% y 15% de ellos se le asignará un VE. En la ciudad de Cuenca se espera que para el año 2030, el 15% de la flota vehicular sea eléctrica. Por tanto, se tomó este porcentaje como límite máximo y se consideraron dos más, que implicarían la evolución de la adopción de los VE hasta alcanzar esta meta. Los perfiles de carga de los VE obedecen a las distribuciones de probabilidad del SoC, HoC y modelo. Los perfiles de carga se ubican principalmente en las madrugadas y noches, mientras que el modelo más común a asignarse es el BYD T3.

Los flujos de carga temporales, en OpenDSS, tanto previo a la inserción como para los tres niveles contemplados indicaron que, a mayor nivel de penetración, los efectos en las series temporales de los monitores se vuelven mayores de manera proporcional.

La penetración de VE tiene un impacto en la demanda, el nivel de voltaje, el flicker y el desequilibrio de voltaje. Mientras que los niveles de penetración del 5% y 10% pueden ser manejados adecuadamente por la infraestructura y capacidades actuales, el 15% de penetración lleva la capacidad del transformador cerca de su límite máximo, lo que podría ser motivo de preocupación futura, es decir, posiblemente para niveles de penetración >15% podrían producirse problemas técnicos. No obstante, incluso con un nivel de

penetración del 15%, los niveles de voltaje, el flicker y el desequilibrio de voltaje se mantienen dentro de los límites normativos, aunque con mayores variaciones respecto al Caso Base.

## **6.2. Recomendaciones.**

Para el Método Montecarlo, deberían incluirse más modelos de VE para completar el modelo de inserción. Adicionalmente, la distribución de probabilidad discreta del HoC puede ser realizada en la ciudad de Cuenca, para mejorar la precisión de los resultados. El programa de inserción es meramente probabilístico, aunque puede ser abordado de distintas maneras, por ejemplo, en función del rendimiento de un modelo y conociendo su recorrido diario en km, se podría determinar su estado de carga de manera más precisa en lugar de obtenerlo directamente de una distribución de probabilidad uniforme continua.

Además, como ya se mencionó, estos resultados son en base a una red modelo, donde se realizaron varias aproximaciones, se recomienda la obtención más detallada de la información real de las redes de bajo voltaje, con el fin de que los resultados sean más precisos, permitiendo identificar opciones para la correcta planificación a corto, mediano y largo plazo debido al incremento de la demanda de los VE.

Finalmente, puede considerarse la incorporación de generación distribuida, como sistemas fotovoltaicos y modalidad V2G para volver a la red más compleja y como idealmente se espera que sea en un futuro. Además, se recomienda un simulador que permita incluir el desequilibrio armónico de voltaje dentro de su análisis, puesto que en OpenDSS no se pudo realizar.

## Referencias

- [1] H. Karunathilake y S. Witharana, "Fossil fuels and global energy economics", 2023.
- [2] F. D. B. Albuquerque, M. A. Maraqa, R. Chowdhury, T. Mauga, y M. Alzard, "Greenhouse gas emissions associated with road transport projects: current status, benchmarking, and assessment tools", *Transportation Research Procedia*, vol. 48, pp. 2018–2030, 2020.
- [3] N. Golovanov y A. Marinescu, "Electromobility and climate change", presentado en 2019 8th International Conference on Modern Power Systems (MPS), 2019, pp. 1–5.
- [4] G. A. Gómez-Ramírez, R. Solis-Ortega, y L. A. Ross-Lépiz, "Impact of electric vehicles on power transmission grids", *Heliyon*, vol. 9, núm. 11, p. e22253, nov. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e22253.
- [5] E. Mudaheeranwa, H. B. Sonder, L. Cipcigan, y C. E. Ugalde-Loo, "Feasibility study and impacts mitigation with the integration of Electric Vehicles into Rwanda's power grid", *Electric Power Systems Research*, vol. 220, p. 109341, jul. 2023, doi: 10.1016/j.epsr.2023.109341.
- [6] "En Cuenca se impulsa la movilidad sostenible – UCUENCA", Consultado: el 3 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ucuenca.edu.ec/noticias/en-cuenca-se-impulsa-la-movilidad-sostenible/>
- [7] M. S. Abid, H. J. Apon, A. Alavi, M. A. Hossain, y F. Abid, "Mitigating the Effect of Electric Vehicle integration in Distribution Grid using Slime Mould Algorithm", *Alexandria Engineering Journal*, vol. 64, pp. 785–800, feb. 2023, doi: 10.1016/j.aej.2022.09.022.
- [8] P. Prem, P. Sivaraman, J. S. Sakthi Suriya Raj, M. Jagabar Sathik, y D. Almakhlles, "Fast charging converter and control algorithm for solar PV battery and electrical grid integrated electric vehicle charging station", *Automatika*, vol. 61, núm. 4, pp. 614–625, oct. 2020, doi: 10.1080/00051144.2020.1810506.
- [9] T. Bragatto *et al.*, "Developing a public EV charging infrastructure in a DSO's perspective: Hosting capacity assessment and grid reinforcements on a real case study", *Electric Power Systems Research*, vol. 221, p. 109463, ago. 2023, doi: 10.1016/j.epsr.2023.109463.
- [10] A. Chudy y P. Mazurek, "Electromobility – the Importance of Power Quality and Environmental Sustainability", *Journal of Ecological Engineering*, vol. 20, núm. 10, pp. 15–23, nov. 2019, doi: 10.12911/22998993/112713.
- [11] B. Manimaran y R. Ranihemamalini, "Antlion-based sliding mode control of vienna rectifier for internet of electric vehicle", *Measurement: Sensors*, vol. 25, p. 100651, feb. 2023, doi: 10.1016/j.measen.2022.100651.
- [12] K. M. Muttaqi, E. Isac, A. Mandal, D. Sutanto, y S. Akter, "Fast and random charging of electric vehicles and its impacts: State-of-the-art technologies and case studies", *Electric Power Systems Research*, vol. 226, p. 109899, ene. 2024, doi: 10.1016/j.epsr.2023.109899.
- [13] J. Hu, H. Zhou, Y. Zhou, H. Zhang, L. Nordströmd, y G. Yang, "Flexibility Prediction of Aggregated Electric Vehicles and Domestic Hot Water Systems in Smart Grids", *Engineering*, vol. 7, núm. 8, pp. 1101–1114, ago. 2021, doi: 10.1016/j.eng.2021.06.008.
- [14] P. Kuwałek y G. Wiczyński, "Monitoring Single-Phase LV Charging of Electric Vehicles", *Sensors*, vol. 23, núm. 1, p. 141, dic. 2022, doi: 10.3390/s23010141.
- [15] M. Chaudry *et al.*, "The implications of ambitious decarbonisation of heat and road transport for Britain's net zero carbon energy systems", *Applied Energy*, vol. 305, p. 117905, ene. 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.117905.

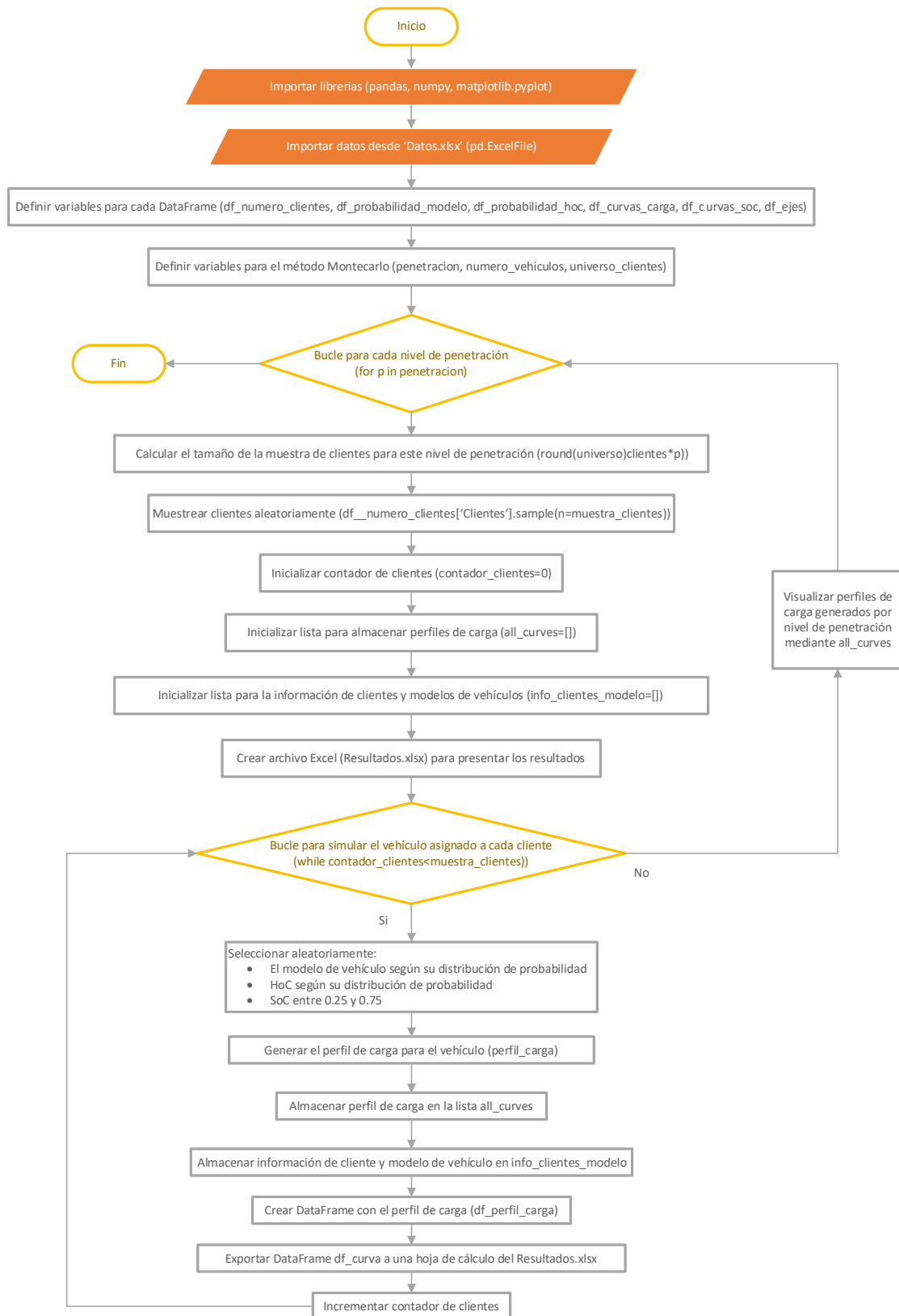
- [16]I. O. Essiet y Y. Sun, "Optimal open-circuit voltage (OCV) model for improved electric vehicle battery state-of-charge in V2G services", *Energy Reports*, vol. 7, pp. 4348–4359, nov. 2021, doi: 10.1016/j.egyr.2021.07.029.
- [17]W. Wei, L. Xu, J. Xu, C. Liu, X. Jiang, y K. Liao, "Coupled dispatching of regional integrated energy system under an electric-traffic environment considering user equilibrium theory", *Energy Reports*, vol. 8, pp. 8939–8952, nov. 2022, doi: 10.1016/j.egyr.2022.07.008.
- [18]M. Kumar, K. P. Panda, R. T. Naayagi, R. Thakur, y G. Panda, "Comprehensive Review of Electric Vehicle Technology and Its Impacts: Detailed Investigation of Charging Infrastructure, Power Management, and Control Techniques", *Applied Sciences*, vol. 13, núm. 15, p. 8919, ago. 2023, doi: 10.3390/app13158919.
- [19]A. Singh, K. Pal, y C. B. Vishwakarma, "State of charge estimation techniques of Li-ion battery of electric vehicles", *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 6, p. 100328, dic. 2023, doi: 10.1016/j.prime.2023.100328.
- [20]D. Mohammed, M. Mansor, y G. C. Hock, "Evaluation of the performance of the vehicular ad hoc network protocols in the case of V2I and EV2I communications", *Bulletin EEI*, vol. 13, núm. 1, pp. 222–232, feb. 2024, doi: 10.11591/eei.v13i1.5516.
- [21]ARCERNNR, "Pliego Tarifario para los Proveedores del Servicio de Carga de Energía a Vehículos Eléctricos para el año 2024". Quito, 2023.
- [22]ARCERNNR, "Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica". Quito, 2023.
- [23]J. Gil-Aguirre, S. Pérez-Londoño, y J. Mora-Flórez, "Análisis de los modelos de carga propuestos para los vehículos eléctricos Analysis of proposed load models for electric vehicles".
- [24]J. Lascano, L. Chiza, R. Saraguro, C. Quinatoa, y J. Tapia, "Estimación de la Demanda de una Estación de Carga para Vehículos Eléctricos Mediante la Aplicación de Métodos Probabilísticos", *re*, vol. 20, núm. 1, pp. 52–64, jul. 2023, doi: 10.37116/revistaenergia.v20.n1.2023.569.
- [25]J. Goubault-Larrecq y D. Varacca, "Continuous Random Variables", *2011 IEEE 26th Annual Symposium on Logic in Computer Science*, pp. 97–106, 2011.
- [26]M. Kooi y A. A. Koelmans, "Simplifying Microplastic via Continuous Probability Distributions for Size, Shape, and Density", *Environ. Sci. Technol. Lett.*, vol. 6, núm. 9, pp. 551–557, sep. 2019, doi: 10.1021/acs.estlett.9b00379.
- [27]R. Rivera, *Principles of Managerial Statistics and Data Science*, 1a ed. Wiley, 2020. doi: 10.1002/9781119486473.
- [28]M. J. Panik, *Statistical Inference: A Short Course*, 1a ed. Wiley, 2012. doi: 10.1002/9781118309773.
- [29]T. P. Abud, A. A. Augusto, M. Z. Fortes, R. S. Maciel, y B. S. M. C. Borba, "State of the Art Monte Carlo Method Applied to Power System Analysis with Distributed Generation", *Energies*, vol. 16, núm. 1, p. 394, dic. 2022, doi: 10.3390/en16010394.
- [30]J. D. Alfaro Pérez, "MÉTODOS DE SIMULACIÓN MOLECULAR: UNA REVISIÓN DE LAS HERRAMIENTAS MÁS ACTUALES", *Ingeniería*, vol. 24, núm. 2, jul. 2014, doi: 10.15517/ring.v24i2.8720.
- [31]W. Alzate Castro y E. Salazar Jiménez, "Aplicación de la simulación Monte Carlo en la proyección del estado de resultados. Un estudio de caso", *Espacios*, vol. 39, 2018.
- [32]Weiner Manso Nóbrega, "APLICACIONES DEL MÉTODO MONTE CARLO EN DOSIMETRÍA Y PROBLEMAS DE LA FÍSICA MÉDICA APPLICATIONS OF THE

- METHOD MONTE CARLO IN DOSIMETRY AND PROBLEMS OF MEDICAL PHYSICS”, 2017, doi: 10.13140/RG.2.2.27702.60480.
- [33] D. A. ZAPATA CARLOS J. PIÑEROS, LUIS C. CASTAÑO, “EL MÉTODO DE SIMULACIÓN DE MONTECARLO EN ESTUDIOS DE CONFIABILIDAD DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”, *Scientia Et Technica*, 2004, [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84912053017>
- [34] “Welcome to Python.org”, Python.org. Consultado: el 8 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.python.org/>
- [35] “Home — Spyder IDE”. Consultado: el 8 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.spyder-ide.org/>
- [36] “Analizando Series Temporales con Python”, QuantSpace. Consultado: el 8 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://quantspace.es/2019/11/22/analizando-series-temporales-con-python/>
- [37] V. Oujezsky, B. Mbarek, F. Kasl, y T. Pitner, “Selected Software and Tools for Smart Grid Simulation in Research”, en *2023 15th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*, 2023, pp. 102–106. doi: 10.1109/ICUMT61075.2023.10333271.
- [38] “BYD T3 Electric Van | Vanzey Pte Ltd”. Consultado: el 18 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://vanzey.com/byd-t3-electric-van/>
- [39] “Kia The Soul EV Specs| Compact Electric Car”, Kia Aruba. Consultado: el 18 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.kia.com/aw/showroom/soul-electric/specification.html>
- [40] “Lab. de Microrred”. Consultado: el 18 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www2.ucuenca.edu.ec/ingenieria/laboratorios/lab-microrred>
- [41] “AeroVironment RS 25 EV Charger”, [www.evCHARGEolutions.com](http://www.evCHARGEolutions.com). Consultado: el 18 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.EVCHARGESOLUTIONS.com/product-p/evse-rs-25.htm>
- [42] “Amazon.com: LXSWY ev Charger - Cargador eléctrico para coche, estación de carga para vehículos eléctricos de 3.6 KW con cable tipo 2, 16 A, 1 fase : Automotriz”. Consultado: el 8 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.com/-/es/LXSWY-Charger-el%C3%A9ctrico-veh%C3%ADculos-el%C3%A9ctricos/dp/B0BQBTQG6G?th=1>
- [43] S. T. Franco, “Impacto producido en la calidad de potencia de una red de distribución eléctrica residencial debido a la recarga de vehículos eléctricos”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:211927262>
- [44] F. M. Albarracín Matute, “Segmentación de red de un sistema de distribución mediante técnicas de agrupamiento posterior a la inserción de vehículos eléctricos de carga liviana”, masterThesis, Universidad de Cuenca, 2023. Consultado: el 21 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/41404>
- [45] 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.”, bachelorThesis, Quito : EPN, 2022., 2022. Consultado: el 18 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23435>
- [46] “Catálogo Digital Redes de Distribución de Energía Eléctrica”. Consultado: el 22 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.unidadespropiedad.com/>
- [47] “09. Transformador”. Consultado: el 14 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.unidadespropiedad.com/pdf/2d/CHME/Transformadores/Transformadores01.pdf>

- [48]“04. Conductores”. Consultado: el 22 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.unidadespropiedad.com/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=885](https://www.unidadespropiedad.com/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=885)
- [49]“Bajo Voltaje Red Desnuda”. Consultado: el 14 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.unidadespropiedad.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=157&Itemid=195](https://www.unidadespropiedad.com/index.php?option=com_content&view=article&id=157&Itemid=195)
- [50]“Geovisor Público”. Consultado: el 6 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://geoportal2.centrosur.gob.ec/geoportal/apps/webappviewer/index.html?id=72a7304acd7a4df78866e70d8efc7c80>
- [51]A. Cabrera *et al.*, “Modelación dinámica de la demanda y oferta de una micro-red eléctrica”, *MASKANA*, vol. 5, pp. 147–162, dic. 2014.
- [52]“ECUENCA”. Consultado: el 21 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ecuenca.org/>



## Anexos



Anexo A. Diagrama de flujo del programa para la inserción de VE.



```
# 1) Librerías
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# 2) Importar datos
Datos = pd.ExcelFile('Datos.xlsx')
df_numero_clientes = Datos.parse('numero_clientes')
df_probabilidad_modelo = Datos.parse('probabilidad_modelo')
df_probabilidad_hoc = Datos.parse('probabilidad_hoc')
df_curvas_carga = Datos.parse('curvas_carga').fillna(0)
df_curvas_soc = Datos.parse('curvas_soc').fillna(0)
df_ejes = pd.DataFrame(df_probabilidad_hoc["Tiempo"])
df_ejes["Tiempo_decimal"] = df_ejes["Tiempo"].apply(lambda x: x.hour + x.minute / 60 +
x.second / 3600)

# 3) Método Montecarlo
penetracion = [0.05, 0.1, 0.15]
numero_vehiculos = 1
universo_clientes = df_numero_clientes.shape[0]

for p in penetracion:
    muestra_clientes = round(universo_clientes * p)
    clientes = df_numero_clientes['Clientes'].sample(n=muestra_clientes)
    contador_clientes = 0
    all_curves = []
    info_clientes_modelo = []

    with pd.ExcelWriter(f'Resultados {int(p*100)}%.xlsx', engine='xlsxwriter') as writer:

        while contador_clientes < muestra_clientes:

            # Elección aleatoria del modelo de VE, SoC y HoC
            modelo_vehiculo = np.random.choice(df_probabilidad_modelo["Tipo de
Vehículo"], numero_vehiculos, True, df_probabilidad_modelo["Probabilidad"])[0]
            soc = np.round(np.random.uniform(0.25, 0.75, numero_vehiculos), 4)[0]
            hoc = np.random.choice(df_probabilidad_hoc["Tiempo"], numero_vehiculos,
True, df_probabilidad_hoc["Probabilidad"])[0]
```

```

# Acceso a las curvas de carga y estado de carga del vehículo seleccionado
para generar un perfil de carga.

perfil_carga = np.zeros([numero_vehiculos,
df_probabilidad_hoc["Tiempo"].shape[0]])

curva_soc = df_curvas_soc[df_curvas_soc["Tipo de Vehículo"] ==
modelo_vehiculo].values[0][1:]
indice_soc = np.where(curva_soc > soc)[0]
curva_carga = df_curvas_carga[df_curvas_carga["Tipo de Vehículo"] ==
modelo_vehiculo].values[0][1:]
carga_restante = curva_carga[indice_soc[0]:]
indice_hora = df_probabilidad_hoc.loc[df_probabilidad_hoc["Tiempo"] ==
hoc].index[0]

for i in range(len(carga_restante)):
    indice = (indice_hora + i) % len(perfil_carga[0])
    perfil_carga[0][indice] += carga_restante[i]

# Almacenamiento del perfil de carga y generación de nombres para las
pestañas del archivo Excel
all_curves.append(perfil_carga)
info_clientes_modelo.append(f'{clientes.iloc[contador_clientes]} -
{modelo_vehiculo}')
df_perfil_carga = pd.DataFrame({"Tiempo": df_ejes["Tiempo"], "Tiempo_decimal":
df_ejes["Tiempo_decimal"], "Potencia (kW)": perfil_carga.flatten()})
nombre_pestaña = info_clientes_modelo[contador_clientes]
df_perfil_carga.to_excel(writer, sheet_name=nombre_pestaña, index=False)

contador_clientes += 1

# Visualización de los perfiles de carga generados por nivel de penetración
plt.figure(figsize=(12, 6))
for i, perfil_carga in enumerate(all_curves):
    plt.plot(df_ejes["Tiempo_decimal"], np.sum(perfil_carga, axis=0),
label=info_clientes_modelo[i], linewidth=2)
    plt.title(f'Perfiles de Carga de Vehículos Eléctricos (Nivel de Penetración: {p*100}%)',
fontsize=16)
    plt.xlabel('Tiempo (h)', fontsize=14)
    plt.ylabel('Potencia (kW)', fontsize=14)
    plt.grid(True)
    plt.legend(loc='center left', bbox_to_anchor=(1, 0.5), fontsize=12)
    plt.xticks(np.arange(0, 25, 1))
    plt.xlim(0, 24)
    plt.tight_layout()

```

plt.show()

## Anexo B. Código en Python del programa para la inserción de VE.

Cientes	$\bar{V}_1$ [V]	$\bar{V}_2$ [V]	$\bar{V}_3$ [V]	$V_k$ [V]	$\Delta V_1$ [%]		$\Delta V_2$ [%]		$\Delta V_3$ [%]	
1	125.318	126.393	0.000	127.000	1.324%	Cumple	0.478%	Cumple	-	-
2	125.318	126.393	0.000	127.000	1.324%	Cumple	0.478%	Cumple	-	-
3	124.516	126.436	0.000	127.000	1.956%	Cumple	0.444%	Cumple	-	-
4	125.466	126.148	0.000	127.000	1.208%	Cumple	0.671%	Cumple	-	-
5	125.152	126.234	0.000	127.000	1.455%	Cumple	0.603%	Cumple	-	-
6	125.177	125.889	0.000	127.000	1.435%	Cumple	0.875%	Cumple	-	-
7	125.507	0.000	0.000	127.000	1.175%	Cumple	-	-	-	-
8	125.088	126.470	0.000	127.000	1.505%	Cumple	0.417%	Cumple	-	-
9	125.719	126.345	0.000	127.000	1.009%	Cumple	0.516%	Cumple	-	-
10	125.310	0.000	0.000	127.000	1.331%	Cumple	-	-	-	-
11	124.890	125.568	0.000	127.000	1.662%	Cumple	1.128%	Cumple	-	-
12	124.890	125.568	0.000	127.000	1.662%	Cumple	1.128%	Cumple	-	-
13	124.890	125.568	0.000	127.000	1.662%	Cumple	1.128%	Cumple	-	-
14	124.520	126.443	0.000	127.000	1.953%	Cumple	0.438%	Cumple	-	-
15	125.337	0.000	0.000	127.000	1.309%	Cumple	-	-	-	-
16	124.836	125.454	0.000	127.000	1.704%	Cumple	1.217%	Cumple	-	-
17	125.337	0.000	0.000	127.000	1.309%	Cumple	-	-	-	-
18	125.473	126.365	126.191	127.000	1.202%	Cumple	0.500%	Cumple	0.637%	Cumple
19	125.473	126.365	126.191	127.000	1.202%	Cumple	0.500%	Cumple	0.637%	Cumple
20	125.191	126.207	0.000	127.000	1.424%	Cumple	0.624%	Cumple	-	-
21	125.191	126.207	0.000	127.000	1.424%	Cumple	0.624%	Cumple	-	-
22	125.191	126.207	0.000	127.000	1.424%	Cumple	0.624%	Cumple	-	-
23	124.336	125.768	0.000	127.000	2.098%	Cumple	0.970%	Cumple	-	-
24	124.336	125.768	0.000	127.000	2.098%	Cumple	0.970%	Cumple	-	-
25	124.336	125.768	0.000	127.000	2.098%	Cumple	0.970%	Cumple	-	-
26	124.336	125.768	0.000	127.000	2.098%	Cumple	0.970%	Cumple	-	-
27	124.336	125.768	0.000	127.000	2.098%	Cumple	0.970%	Cumple	-	-
28	124.336	125.768	0.000	127.000	2.098%	Cumple	0.970%	Cumple	-	-
29	125.194	126.154	0.000	127.000	1.422%	Cumple	0.666%	Cumple	-	-
30	125.194	126.154	0.000	127.000	1.422%	Cumple	0.666%	Cumple	-	-
31	125.194	126.154	0.000	127.000	1.422%	Cumple	0.666%	Cumple	-	-
32	125.194	126.154	0.000	127.000	1.422%	Cumple	0.666%	Cumple	-	-
33	125.589	126.164	0.000	127.000	1.111%	Cumple	0.658%	Cumple	-	-
34	125.589	126.164	0.000	127.000	1.111%	Cumple	0.658%	Cumple	-	-
35	125.589	126.164	0.000	127.000	1.111%	Cumple	0.658%	Cumple	-	-
36	125.589	126.164	0.000	127.000	1.111%	Cumple	0.658%	Cumple	-	-
37	125.589	126.164	0.000	127.000	1.111%	Cumple	0.658%	Cumple	-	-
38	125.589	126.164	0.000	127.000	1.111%	Cumple	0.658%	Cumple	-	-
39	124.794	0.000	0.000	127.000	1.737%	Cumple	-	-	-	-
40	124.794	0.000	0.000	127.000	1.737%	Cumple	-	-	-	-

41	124.447	125.845	0.000	127.000	2.010%	Cumple	0.910%	Cumple	-	-
42	124.794	0.000	0.000	127.000	1.737%	Cumple	-	-	-	-
43	124.447	125.845	0.000	127.000	2.010%	Cumple	0.910%	Cumple	-	-
44	124.447	125.845	0.000	127.000	2.010%	Cumple	0.910%	Cumple	-	-
45	124.447	125.845	0.000	127.000	2.010%	Cumple	0.910%	Cumple	-	-
46	124.447	125.845	0.000	127.000	2.010%	Cumple	0.910%	Cumple	-	-
47	124.447	125.845	0.000	127.000	2.010%	Cumple	0.910%	Cumple	-	-
48	125.327	126.086	0.000	127.000	1.317%	Cumple	0.720%	Cumple	-	-
49	125.344	126.116	0.000	127.000	1.304%	Cumple	0.696%	Cumple	-	-
50	125.266	126.232	0.000	127.000	1.366%	Cumple	0.605%	Cumple	-	-
51	125.266	126.232	0.000	127.000	1.366%	Cumple	0.605%	Cumple	-	-
52	125.266	126.232	0.000	127.000	1.366%	Cumple	0.605%	Cumple	-	-
53	125.266	126.232	0.000	127.000	1.366%	Cumple	0.605%	Cumple	-	-
54	125.332	126.095	0.000	127.000	1.313%	Cumple	0.713%	Cumple	-	-
55	125.499	126.397	0.000	127.000	1.182%	Cumple	0.475%	Cumple	-	-
56	125.154	125.863	0.000	127.000	1.454%	Cumple	0.895%	Cumple	-	-
57	125.154	125.863	0.000	127.000	1.454%	Cumple	0.895%	Cumple	-	-
58	125.079	126.465	0.000	127.000	1.513%	Cumple	0.421%	Cumple	-	-
59	124.314	125.752	0.000	127.000	2.115%	Cumple	0.982%	Cumple	-	-
60	124.314	125.752	0.000	127.000	2.115%	Cumple	0.982%	Cumple	-	-
61	124.314	125.752	0.000	127.000	2.115%	Cumple	0.982%	Cumple	-	-
62	125.694	0.000	0.000	127.000	1.028%	Cumple	-	-	-	-
<b>Transformador</b>	125.733	126.395	126.358	127.000	0.997%	Cumple	0.476%	Cumple	0.505%	Cumple

Anexo C. Cálculo del nivel de voltaje para el Caso Base.

Clientes	$\bar{V}_1$ [V]	$\bar{V}_2$ [V]	$\bar{V}_3$ [V]	$V_k$ [V]	$\Delta V_1$ [%]		$\Delta V_2$ [%]		$\Delta V_3$ [%]	
1	125.202	126.334	0.000	127.000	1.416%	Cumple	0.525%	Cumple	-	-
2	125.202	126.334	0.000	127.000	1.416%	Cumple	0.525%	Cumple	-	-
3	144.220	126.383	0.000	127.000	2.189%	Cumple	0.486%	Cumple	-	-
4	125.350	126.095	0.000	127.000	1.299%	Cumple	0.713%	Cumple	-	-
5	124.891	126.198	0.000	127.000	1.661%	Cumple	0.632%	Cumple	-	-
6	125.061	125.835	0.000	127.000	1.527%	Cumple	0.917%	Cumple	-	-
7	125.391	0.000	0.000	127.000	1.267%	Cumple	-	-	-	-
8	124.972	126.411	0.000	127.000	1.597%	Cumple	0.464%	Cumple	-	-
9	125.603	126.292	0.000	127.000	1.100%	Cumple	0.558%	Cumple	-	-
10	125.194	0.000	0.000	127.000	1.422%	Cumple	-	-	-	-
11	124.773	125.514	0.000	127.000	1.753%	Cumple	1.170%	Cumple	-	-
12	124.773	125.514	0.000	127.000	1.753%	Cumple	1.170%	Cumple	-	-
13	124.773	125.514	0.000	127.000	1.753%	Cumple	1.170%	Cumple	-	-
14	124.224	126.390	0.000	127.000	2.186%	Cumple	0.480%	Cumple	-	-
15	125.221	0.000	0.000	127.000	1.401%	Cumple	-	-	-	-
16	124.719	125.401	0.000	127.000	1.796%	Cumple	1.259%	Cumple	-	-
17	125.221	0.000	0.000	127.000	1.401%	Cumple	-	-	-	-
18	125.357	126.306	126.137	127.000	1.294%	Cumple	0.546%	Cumple	0.679%	Cumple
19	125.357	126.306	126.137	127.000	1.294%	Cumple	0.546%	Cumple	0.679%	Cumple

20	124.914	125.988	0.000	127.000	1.642%	Cumple	0.797%	Cumple	-	-
21	124.914	125.988	0.000	127.000	1.642%	Cumple	0.797%	Cumple	-	-
22	124.914	125.988	0.000	127.000	1.642%	Cumple	0.797%	Cumple	-	-
23	124.039	125.644	0.000	127.000	2.331%	Cumple	1.068%	Cumple	-	-
24	124.039	125.644	0.000	127.000	2.331%	Cumple	1.068%	Cumple	-	-
25	124.039	125.644	0.000	127.000	2.331%	Cumple	1.068%	Cumple	-	-
26	124.039	125.644	0.000	127.000	2.331%	Cumple	1.068%	Cumple	-	-
27	124.039	125.644	0.000	127.000	2.331%	Cumple	1.068%	Cumple	-	-
28	124.039	125.644	0.000	127.000	2.331%	Cumple	1.068%	Cumple	-	-
29	124.959	126.051	0.000	127.000	1.607%	Cumple	0.747%	Cumple	-	-
30	124.959	126.051	0.000	127.000	1.607%	Cumple	0.747%	Cumple	-	-
31	124.959	126.051	0.000	127.000	1.607%	Cumple	0.747%	Cumple	-	-
32	124.959	126.051	0.000	127.000	1.607%	Cumple	0.747%	Cumple	-	-
33	125.473	126.111	0.000	127.000	1.203%	Cumple	0.700%	Cumple	-	-
34	125.473	126.111	0.000	127.000	1.203%	Cumple	0.700%	Cumple	-	-
35	125.473	126.111	0.000	127.000	1.203%	Cumple	0.700%	Cumple	-	-
36	125.473	126.111	0.000	127.000	1.203%	Cumple	0.700%	Cumple	-	-
37	125.473	126.111	0.000	127.000	1.203%	Cumple	0.700%	Cumple	-	-
38	125.473	126.111	0.000	127.000	1.203%	Cumple	0.700%	Cumple	-	-
39	124.678	0.000	0.000	127.000	1.828%	Cumple	-	-	-	-
40	124.678	0.000	0.000	127.000	1.828%	Cumple	-	-	-	-
41	124.118	125.698	0.000	127.000	2.269%	Cumple	1.025%	Cumple	-	-
42	124.678	0.000	0.000	127.000	1.828%	Cumple	-	-	-	-
43	124.118	125.698	0.000	127.000	2.269%	Cumple	1.025%	Cumple	-	-
44	124.118	125.698	0.000	127.000	2.269%	Cumple	1.025%	Cumple	-	-
45	124.118	125.698	0.000	127.000	2.269%	Cumple	1.025%	Cumple	-	-
46	124.118	125.698	0.000	127.000	2.269%	Cumple	1.025%	Cumple	-	-
47	124.118	125.698	0.000	127.000	2.269%	Cumple	1.025%	Cumple	-	-
48	125.211	126.033	0.000	127.000	1.409%	Cumple	0.762%	Cumple	-	-
49	125.228	126.062	0.000	127.000	1.395%	Cumple	0.738%	Cumple	-	-
50	125.073	126.149	0.000	127.000	1.517%	Cumple	0.670%	Cumple	-	-
51	125.073	126.149	0.000	127.000	1.517%	Cumple	0.670%	Cumple	-	-
52	125.073	126.149	0.000	127.000	1.517%	Cumple	0.670%	Cumple	-	-
53	125.073	126.149	0.000	127.000	1.517%	Cumple	0.670%	Cumple	-	-
54	125.216	126.041	0.000	127.000	1.405%	Cumple	0.755%	Cumple	-	-
55	125.383	126.338	0.000	127.000	1.273%	Cumple	0.521%	Cumple	-	-
56	125.038	125.810	0.000	127.000	1.545%	Cumple	0.937%	Cumple	-	-
57	125.038	125.810	0.000	127.000	1.545%	Cumple	0.937%	Cumple	-	-
58	124.963	126.406	0.000	127.000	1.604%	Cumple	0.468%	Cumple	-	-
59	124.017	125.629	0.000	127.000	2.349%	Cumple	1.080%	Cumple	-	-
60	124.017	125.629	0.000	127.000	2.349%	Cumple	1.080%	Cumple	-	-
61	124.017	125.629	0.000	127.000	2.349%	Cumple	1.080%	Cumple	-	-
62	125.579	0.000	0.000	127.000	1.119%	Cumple	-	-	-	-
<b>Transformador</b>	125.618	126.336	126.305	127.000	1.088%	Cumple	0.523%	Cumple	0.547%	Cumple

Anexo D. Cálculo del nivel de voltaje para el nivel de penetración del 5%.

Clientes	$\bar{V}_1$ [V]	$\bar{V}_2$ [V]	$\bar{V}_3$ [V]	$V_k$ [V]	$\Delta V_1$ [%]		$\Delta V_2$ [%]		$\Delta V_3$ [%]	
1	125.093	126.374	0.000	127.000	1.501%	Cumple	0.493%	Cumple	-	-
2	125.093	126.374	0.000	127.000	1.501%	Cumple	0.493%	Cumple	-	-
3	124.256	126.321	0.000	127.000	2.161%	Cumple	0.534%	Cumple	-	-
4	125.150	125.780	0.000	127.000	1.457%	Cumple	0.960%	Cumple	-	-
5	124.797	126.102	0.000	127.000	1.735%	Cumple	0.707%	Cumple	-	-
6	124.953	125.683	0.000	127.000	1.612%	Cumple	1.037%	Cumple	-	-
7	125.283	0.000	0.000	127.000	1.352%	Cumple	-	-	-	-
8	124.864	126.451	0.000	127.000	1.682%	Cumple	0.432%	Cumple	-	-
9	125.536	126.209	0.000	127.000	1.153%	Cumple	0.623%	Cumple	-	-
10	125.085	0.000	0.000	127.000	1.508%	Cumple	-	-	-	-
11	124.601	125.259	0.000	127.000	1.889%	Cumple	1.371%	Cumple	-	-
12	124.601	125.259	0.000	127.000	1.889%	Cumple	1.371%	Cumple	-	-
13	124.601	125.259	0.000	127.000	1.889%	Cumple	1.371%	Cumple	-	-
14	124.260	126.329	0.000	127.000	2.158%	Cumple	0.529%	Cumple	-	-
15	125.113	0.000	0.000	127.000	1.486%	Cumple	-	-	-	-
16	124.571	125.179	0.000	127.000	1.912%	Cumple	1.434%	Cumple	-	-
17	125.113	0.000	0.000	127.000	1.486%	Cumple	-	-	-	-
18	125.248	126.346	125.983	127.000	1.379%	Cumple	0.515%	Cumple	0.800%	Cumple
19	125.248	126.346	125.983	127.000	1.379%	Cumple	0.515%	Cumple	0.800%	Cumple
20	124.903	126.101	0.000	127.000	1.651%	Cumple	0.708%	Cumple	-	-
21	124.903	126.101	0.000	127.000	1.651%	Cumple	0.708%	Cumple	-	-
22	124.903	126.101	0.000	127.000	1.651%	Cumple	0.708%	Cumple	-	-
23	124.075	125.686	0.000	127.000	2.303%	Cumple	1.035%	Cumple	-	-
24	124.075	125.686	0.000	127.000	2.303%	Cumple	1.035%	Cumple	-	-
25	124.075	125.686	0.000	127.000	2.303%	Cumple	1.035%	Cumple	-	-
26	124.075	125.686	0.000	127.000	2.303%	Cumple	1.035%	Cumple	-	-
27	124.075	125.686	0.000	127.000	2.303%	Cumple	1.035%	Cumple	-	-
28	124.075	125.686	0.000	127.000	2.303%	Cumple	1.035%	Cumple	-	-
29	124.973	126.091	0.000	127.000	1.596%	Cumple	0.716%	Cumple	-	-
30	124.973	126.091	0.000	127.000	1.596%	Cumple	0.716%	Cumple	-	-
31	124.973	126.091	0.000	127.000	1.596%	Cumple	0.716%	Cumple	-	-
32	124.973	126.091	0.000	127.000	1.596%	Cumple	0.716%	Cumple	-	-
33	125.331	125.923	0.000	127.000	1.314%	Cumple	0.848%	Cumple	-	-
34	125.331	125.923	0.000	127.000	1.314%	Cumple	0.848%	Cumple	-	-
35	125.331	125.923	0.000	127.000	1.314%	Cumple	0.848%	Cumple	-	-
36	125.331	125.923	0.000	127.000	1.314%	Cumple	0.848%	Cumple	-	-
37	125.331	125.923	0.000	127.000	1.314%	Cumple	0.848%	Cumple	-	-
38	125.331	125.923	0.000	127.000	1.314%	Cumple	0.848%	Cumple	-	-
39	124.530	0.000	0.000	127.000	1.945%	Cumple	-	-	-	-
40	124.530	0.000	0.000	127.000	1.945%	Cumple	-	-	-	-
41	124.174	125.755	0.000	127.000	2.225%	Cumple	0.981%	Cumple	-	-
42	124.530	0.000	0.000	127.000	1.945%	Cumple	-	-	-	-
43	124.174	125.755	0.000	127.000	2.225%	Cumple	0.981%	Cumple	-	-
44	124.174	125.755	0.000	127.000	2.225%	Cumple	0.981%	Cumple	-	-



45	124.174	125.755	0.000	127.000	2.225%	Cumple	0.981%	Cumple	-	-
46	124.174	125.755	0.000	127.000	2.225%	Cumple	0.981%	Cumple	-	-
47	124.174	125.755	0.000	127.000	2.225%	Cumple	0.981%	Cumple	-	-
48	125.102	125.879	0.000	127.000	1.494%	Cumple	0.883%	Cumple	-	-
49	125.119	125.908	0.000	127.000	1.481%	Cumple	0.860%	Cumple	-	-
50	125.045	126.106	0.000	127.000	1.539%	Cumple	0.704%	Cumple	-	-
51	125.045	126.106	0.000	127.000	1.539%	Cumple	0.704%	Cumple	-	-
52	125.045	126.106	0.000	127.000	1.539%	Cumple	0.704%	Cumple	-	-
53	125.045	126.106	0.000	127.000	1.539%	Cumple	0.704%	Cumple	-	-
54	125.107	125.887	0.000	127.000	1.490%	Cumple	0.876%	Cumple	-	-
55	125.274	126.378	0.000	127.000	1.359%	Cumple	0.490%	Cumple	-	-
56	124.930	125.657	0.000	127.000	1.630%	Cumple	1.058%	Cumple	-	-
57	124.930	125.657	0.000	127.000	1.630%	Cumple	1.058%	Cumple	-	-
58	124.855	126.446	0.000	127.000	1.689%	Cumple	0.436%	Cumple	-	-
59	124.053	125.671	0.000	127.000	2.321%	Cumple	1.047%	Cumple	-	-
60	124.053	125.671	0.000	127.000	2.321%	Cumple	1.047%	Cumple	-	-
61	124.053	125.671	0.000	127.000	2.321%	Cumple	1.047%	Cumple	-	-
62	125.512	0.000	0.000	127.000	1.172%	Cumple	-	-	-	-
Transformador	125.552	126.351	126.224	127.000	1.140%	Cumple	0.511%	Cumple	0.611%	Cumple

Anexo E. Cálculo del nivel de voltaje para el nivel de penetración del 10%.

Clientes	$\bar{V}_1$ [V]	$\bar{V}_2$ [V]	$\bar{V}_3$ [V]	$V_k$ [V]	$\Delta V_1$ [%]		$\Delta V_2$ [%]		$\Delta V_3$ [%]	
1	124.726	126.015	-	127.000	1.791%	Cumple	0.775%	Cumple	-	-
2	124.726	126.015	-	127.000	1.791%	Cumple	0.775%	Cumple	-	-
3	123.660	126.392	-	127.000	2.630%	Cumple	0.479%	Cumple	-	-
4	124.874	126.032	-	127.000	1.674%	Cumple	0.762%	Cumple	-	-
5	124.564	125.854	-	127.000	1.918%	Cumple	0.902%	Cumple	-	-
6	124.167	125.737	-	127.000	2.230%	Cumple	0.994%	Cumple	-	-
7	124.916	0.000	-	127.000	1.641%	Cumple	-	-	-	-
8	123.596	125.729	-	127.000	2.680%	Cumple	1.000%	Cumple	-	-
9	125.199	126.168	-	127.000	1.418%	Cumple	0.655%	Cumple	-	-
10	124.718	0.000	-	127.000	1.797%	Cumple	-	-	-	-
11	123.801	125.282	-	127.000	2.519%	Cumple	1.352%	Cumple	-	-
12	123.801	125.282	-	127.000	2.519%	Cumple	1.352%	Cumple	-	-
13	123.801	125.282	-	127.000	2.519%	Cumple	1.352%	Cumple	-	-
14	123.664	126.399	-	127.000	2.626%	Cumple	0.473%	Cumple	-	-
15	124.745	0.000	-	127.000	1.775%	Cumple	-	-	-	-
16	123.577	124.874	-	127.000	2.695%	Cumple	1.674%	Cumple	-	-
17	124.745	0.000	-	127.000	1.775%	Cumple	-	-	-	-
18	124.881	125.988	126.074	127.000	1.668%	Cumple	0.797%	Cumple	0.729%	Cumple
19	124.881	125.988	126.074	127.000	1.668%	Cumple	0.797%	Cumple	0.729%	Cumple
20	124.604	126.086	-	127.000	1.887%	Cumple	0.719%	Cumple	-	-
21	124.604	126.086	-	127.000	1.887%	Cumple	0.719%	Cumple	-	-
22	124.604	126.086	-	127.000	1.887%	Cumple	0.719%	Cumple	-	-
23	123.479	125.254	-	127.000	2.773%	Cumple	1.375%	Cumple	-	-

24	123.479	125.254	-	127.000	2.773%	Cumple	1.375%	Cumple	-	-
25	123.479	125.254	-	127.000	2.773%	Cumple	1.375%	Cumple	-	-
26	123.479	125.254	-	127.000	2.773%	Cumple	1.375%	Cumple	-	-
27	123.479	125.254	-	127.000	2.773%	Cumple	1.375%	Cumple	-	-
28	123.479	125.254	-	127.000	2.773%	Cumple	1.375%	Cumple	-	-
29	124.607	125.773	-	127.000	1.884%	Cumple	0.966%	Cumple	-	-
30	124.607	125.773	-	127.000	1.884%	Cumple	0.966%	Cumple	-	-
31	124.607	125.773	-	127.000	1.884%	Cumple	0.966%	Cumple	-	-
32	124.607	125.773	-	127.000	1.884%	Cumple	0.966%	Cumple	-	-
33	125.014	125.916	-	127.000	1.564%	Cumple	0.854%	Cumple	-	-
34	125.014	125.916	-	127.000	1.564%	Cumple	0.854%	Cumple	-	-
35	125.014	125.916	-	127.000	1.564%	Cumple	0.854%	Cumple	-	-
36	125.014	125.916	-	127.000	1.564%	Cumple	0.854%	Cumple	-	-
37	125.014	125.916	-	127.000	1.564%	Cumple	0.854%	Cumple	-	-
38	125.014	125.916	-	127.000	1.564%	Cumple	0.854%	Cumple	-	-
39	123.708	0.000	-	127.000	2.592%	Cumple	-	-	-	-
40	123.708	0.000	-	127.000	2.592%	Cumple	-	-	-	-
41	123.525	125.286	-	127.000	2.737%	Cumple	1.350%	Cumple	-	-
42	123.708	0.000	-	127.000	2.592%	Cumple	-	-	-	-
43	123.525	125.286	-	127.000	2.737%	Cumple	1.350%	Cumple	-	-
44	123.525	125.286	-	127.000	2.737%	Cumple	1.350%	Cumple	-	-
45	123.525	125.286	-	127.000	2.737%	Cumple	1.350%	Cumple	-	-
46	123.525	125.286	-	127.000	2.737%	Cumple	1.350%	Cumple	-	-
47	123.525	125.286	-	127.000	2.737%	Cumple	1.350%	Cumple	-	-
48	124.735	125.970	-	127.000	1.784%	Cumple	0.811%	Cumple	-	-
49	124.752	125.999	-	127.000	1.770%	Cumple	0.788%	Cumple	-	-
50	124.679	126.111	-	127.000	1.828%	Cumple	0.700%	Cumple	-	-
51	124.679	126.111	-	127.000	1.828%	Cumple	0.700%	Cumple	-	-
52	124.679	126.111	-	127.000	1.828%	Cumple	0.700%	Cumple	-	-
53	124.679	126.111	-	127.000	1.828%	Cumple	0.700%	Cumple	-	-
54	124.740	125.978	-	127.000	1.780%	Cumple	0.805%	Cumple	-	-
55	124.858	125.993	-	127	1.687%	Cumple	0.793%	Cumple	-	-
56	124.144	125.711	-	127	2.249%	Cumple	1.015%	Cumple	-	-
57	124.144	125.711	-	127	2.249%	Cumple	1.015%	Cumple	-	-
58	124.069	125.984	-	127	2.308%	Cumple	0.800%	Cumple	-	-
59	123.395	125.197	-	127	2.839%	Cumple	1.420%	Cumple	-	-
60	123.395	125.197	-	127	2.839%	Cumple	1.420%	Cumple	-	-
61	123.395	125.197	-	127	2.839%	Cumple	1.420%	Cumple	-	-
62	125.194	0.000	-	127	1.422%	Cumple	-	-	-	-
Transformador	125.238	126.060	126.214	127	1.388%	Cumple	0.740%	Cumple	0.619%	Cumple

Anexo F. Cálculo del nivel de voltaje para el nivel de penetración del 15%.

Tiempo	P <sub>st1</sub>		P <sub>st2</sub>		P <sub>st3</sub>	
0:00	0	Cumple	0	Cumple	0	Cumple
0:10	0	Cumple	0	Cumple	0	Cumple



0:20	2.901E-08	Cumple	1.620E-08	Cumple	1.133E-08	Cumple
0:30	6.022E-08	Cumple	3.360E-08	Cumple	2.340E-08	Cumple
0:40	9.965E-08	Cumple	5.952E-08	Cumple	3.558E-08	Cumple
0:50	1.609E-07	Cumple	1.043E-07	Cumple	5.076E-08	Cumple
1:00	2.209E-07	Cumple	1.502E-07	Cumple	6.596E-08	Cumple
1:10	2.402E-07	Cumple	1.727E-07	Cumple	6.846E-08	Cumple
1:20	2.642E-07	Cumple	1.968E-07	Cumple	7.319E-08	Cumple
1:30	2.980E-07	Cumple	2.345E-07	Cumple	7.447E-08	Cumple
1:40	3.376E-07	Cumple	2.831E-07	Cumple	7.138E-08	Cumple
1:50	3.880E-07	Cumple	3.350E-07	Cumple	7.434E-08	Cumple
2:00	4.531E-07	Cumple	3.928E-07	Cumple	8.354E-08	Cumple
2:10	5.313E-07	Cumple	4.585E-07	Cumple	9.554E-08	Cumple
2:20	5.984E-07	Cumple	5.157E-07	Cumple	1.038E-07	Cumple
2:30	6.119E-07	Cumple	5.507E-07	Cumple	8.495E-08	Cumple
2:40	5.881E-07	Cumple	5.745E-07	Cumple	4.368E-08	Cumple
2:50	5.595E-07	Cumple	5.904E-07	Cumple	4.126E-09	Cumple
3:00	5.299E-07	Cumple	5.984E-07	Cumple	3.072E-08	Cumple
3:10	4.762E-07	Cumple	5.963E-07	Cumple	7.793E-08	Cumple
3:20	4.232E-07	Cumple	6.011E-07	Cumple	1.312E-07	Cumple
3:30	3.845E-07	Cumple	6.180E-07	Cumple	1.837E-07	Cumple
3:40	3.501E-07	Cumple	6.409E-07	Cumple	2.380E-07	Cumple
3:50	3.103E-07	Cumple	6.578E-07	Cumple	2.924E-07	Cumple
4:00	2.903E-07	Cumple	6.755E-07	Cumple	3.308E-07	Cumple
4:10	2.767E-07	Cumple	6.957E-07	Cumple	3.650E-07	Cumple
4:20	2.400E-07	Cumple	7.065E-07	Cumple	4.104E-07	Cumple
4:30	2.036E-07	Cumple	7.143E-07	Cumple	4.531E-07	Cumple
4:40	1.956E-07	Cumple	7.328E-07	Cumple	4.811E-07	Cumple
4:50	1.783E-07	Cumple	7.483E-07	Cumple	5.114E-07	Cumple
5:00	1.500E-07	Cumple	7.589E-07	Cumple	5.424E-07	Cumple
5:10	7.052E-08	Cumple	7.438E-07	Cumple	5.957E-07	Cumple
5:20	1.715E-08	Cumple	7.390E-07	Cumple	6.357E-07	Cumple
5:30	6.688E-09	Cumple	7.413E-07	Cumple	6.553E-07	Cumple
5:40	3.989E-08	Cumple	7.306E-07	Cumple	6.765E-07	Cumple
5:50	2.468E-07	Cumple	5.876E-07	Cumple	7.150E-07	Cumple
6:00	5.602E-07	Cumple	3.405E-07	Cumple	7.420E-07	Cumple
6:10	7.882E-07	Cumple	1.299E-07	Cumple	7.292E-07	Cumple
6:20	9.128E-07	Cumple	2.053E-08	Cumple	6.824E-07	Cumple
6:30	9.084E-07	Cumple	9.038E-08	Cumple	5.986E-07	Cumple
6:40	9.784E-07	Cumple	2.038E-07	Cumple	5.532E-07	Cumple
6:50	1.130E-06	Cumple	3.816E-07	Cumple	5.354E-07	Cumple
7:00	1.259E-06	Cumple	5.420E-07	Cumple	5.140E-07	Cumple
7:10	1.423E-06	Cumple	7.010E-07	Cumple	5.264E-07	Cumple
7:20	1.634E-06	Cumple	8.780E-07	Cumple	5.636E-07	Cumple
7:30	1.786E-06	Cumple	1.022E-06	Cumple	5.785E-07	Cumple
7:40	1.894E-06	Cumple	1.149E-06	Cumple	5.953E-07	Cumple

7:50	1.932E-06	Cumple	1.250E-06	Cumple	5.927E-07	Cumple
8:00	1.888E-06	Cumple	1.304E-06	Cumple	5.565E-07	Cumple
8:10	1.844E-06	Cumple	1.342E-06	Cumple	5.327E-07	Cumple
8:20	1.792E-06	Cumple	1.365E-06	Cumple	5.115E-07	Cumple
8:30	1.714E-06	Cumple	1.379E-06	Cumple	4.718E-07	Cumple
8:40	1.589E-06	Cumple	1.381E-06	Cumple	4.111E-07	Cumple
8:50	1.441E-06	Cumple	1.375E-06	Cumple	3.502E-07	Cumple
9:00	1.254E-06	Cumple	1.348E-06	Cumple	2.711E-07	Cumple
9:10	9.993E-07	Cumple	1.286E-06	Cumple	1.638E-07	Cumple
9:20	7.003E-07	Cumple	1.203E-06	Cumple	3.640E-08	Cumple
9:30	4.205E-07	Cumple	1.141E-06	Cumple	9.567E-08	Cumple
9:40	2.120E-07	Cumple	1.116E-06	Cumple	1.951E-07	Cumple
9:50	3.967E-08	Cumple	1.104E-06	Cumple	2.719E-07	Cumple
10:00	1.728E-07	Cumple	1.073E-06	Cumple	3.671E-07	Cumple
10:10	4.176E-07	Cumple	1.026E-06	Cumple	4.779E-07	Cumple
10:20	6.191E-07	Cumple	1.000E-06	Cumple	5.718E-07	Cumple
10:30	8.174E-07	Cumple	9.796E-07	Cumple	6.714E-07	Cumple
10:40	1.064E-06	Cumple	9.338E-07	Cumple	7.933E-07	Cumple
10:50	1.318E-06	Cumple	8.708E-07	Cumple	9.067E-07	Cumple
11:00	1.583E-06	Cumple	7.843E-07	Cumple	1.008E-06	Cumple
11:10	1.879E-06	Cumple	6.774E-07	Cumple	1.119E-06	Cumple
11:20	2.197E-06	Cumple	5.566E-07	Cumple	1.236E-06	Cumple
11:30	2.533E-06	Cumple	4.095E-07	Cumple	1.346E-06	Cumple
11:40	2.856E-06	Cumple	2.506E-07	Cumple	1.438E-06	Cumple
11:50	3.222E-06	Cumple	5.019E-08	Cumple	1.528E-06	Cumple
12:00	3.608E-06	Cumple	1.772E-07	Cumple	1.612E-06	Cumple
12:10	3.994E-06	Cumple	4.055E-07	Cumple	1.695E-06	Cumple
12:20	4.375E-06	Cumple	6.337E-07	Cumple	1.774E-06	Cumple
12:30	4.788E-06	Cumple	8.660E-07	Cumple	1.864E-06	Cumple
12:40	5.262E-06	Cumple	1.108E-06	Cumple	1.988E-06	Cumple
12:50	5.761E-06	Cumple	1.366E-06	Cumple	2.123E-06	Cumple
13:00	6.279E-06	Cumple	1.647E-06	Cumple	2.257E-06	Cumple
13:10	6.781E-06	Cumple	1.926E-06	Cumple	2.381E-06	Cumple
13:20	7.248E-06	Cumple	2.186E-06	Cumple	2.492E-06	Cumple
13:30	7.642E-06	Cumple	2.402E-06	Cumple	2.574E-06	Cumple
13:40	7.976E-06	Cumple	2.585E-06	Cumple	2.629E-06	Cumple
13:50	8.306E-06	Cumple	2.779E-06	Cumple	2.668E-06	Cumple
14:00	8.615E-06	Cumple	2.980E-06	Cumple	2.682E-06	Cumple
14:10	8.873E-06	Cumple	3.167E-06	Cumple	2.665E-06	Cumple
14:20	9.101E-06	Cumple	3.338E-06	Cumple	2.634E-06	Cumple
14:30	9.347E-06	Cumple	3.504E-06	Cumple	2.620E-06	Cumple
14:40	9.622E-06	Cumple	3.687E-06	Cumple	2.619E-06	Cumple
14:50	9.894E-06	Cumple	3.875E-06	Cumple	2.613E-06	Cumple
15:00	1.010E-05	Cumple	4.024E-06	Cumple	2.592E-06	Cumple
15:10	1.027E-05	Cumple	4.155E-06	Cumple	2.554E-06	Cumple

15:20	1.044E-05	Cumple	4.291E-06	Cumple	2.514E-06	Cumple
15:30	1.059E-05	Cumple	4.411E-06	Cumple	2.475E-06	Cumple
15:40	1.071E-05	Cumple	4.510E-06	Cumple	2.427E-06	Cumple
15:50	1.077E-05	Cumple	4.579E-06	Cumple	2.364E-06	Cumple
16:00	1.083E-05	Cumple	4.650E-06	Cumple	2.301E-06	Cumple
16:10	1.091E-05	Cumple	4.724E-06	Cumple	2.244E-06	Cumple
16:20	1.094E-05	Cumple	4.773E-06	Cumple	2.176E-06	Cumple
16:30	1.095E-05	Cumple	4.818E-06	Cumple	2.096E-06	Cumple
16:40	1.102E-05	Cumple	4.899E-06	Cumple	2.029E-06	Cumple
16:50	1.106E-05	Cumple	4.973E-06	Cumple	1.952E-06	Cumple
17:00	1.105E-05	Cumple	5.024E-06	Cumple	1.852E-06	Cumple
17:10	1.102E-05	Cumple	5.076E-06	Cumple	1.730E-06	Cumple
17:20	1.114E-05	Cumple	5.119E-06	Cumple	1.762E-06	Cumple
17:30	1.139E-05	Cumple	5.133E-06	Cumple	1.953E-06	Cumple
17:40	1.166E-05	Cumple	5.146E-06	Cumple	2.153E-06	Cumple
17:50	1.189E-05	Cumple	5.155E-06	Cumple	2.327E-06	Cumple
18:00	1.242E-05	Cumple	5.320E-06	Cumple	2.618E-06	Cumple
18:10	1.326E-05	Cumple	5.638E-06	Cumple	3.032E-06	Cumple
18:20	1.411E-05	Cumple	5.966E-06	Cumple	3.456E-06	Cumple
18:30	1.504E-05	Cumple	6.327E-06	Cumple	3.921E-06	Cumple
18:40	1.594E-05	Cumple	6.673E-06	Cumple	4.362E-06	Cumple
18:50	1.687E-05	Cumple	7.030E-06	Cumple	4.830E-06	Cumple
19:00	1.778E-05	Cumple	7.352E-06	Cumple	5.306E-06	Cumple
19:10	1.862E-05	Cumple	7.626E-06	Cumple	5.758E-06	Cumple
19:20	1.944E-05	Cumple	7.878E-06	Cumple	6.198E-06	Cumple
19:30	2.024E-05	Cumple	8.130E-06	Cumple	6.625E-06	Cumple
19:40	2.094E-05	Cumple	8.348E-06	Cumple	6.997E-06	Cumple
19:50	2.162E-05	Cumple	8.564E-06	Cumple	7.354E-06	Cumple
20:00	2.230E-05	Cumple	8.776E-06	Cumple	7.704E-06	Cumple
20:10	2.292E-05	Cumple	8.963E-06	Cumple	8.034E-06	Cumple
20:20	2.353E-05	Cumple	9.141E-06	Cumple	8.340E-06	Cumple
20:30	2.413E-05	Cumple	9.336E-06	Cumple	8.628E-06	Cumple
20:40	2.478E-05	Cumple	9.572E-06	Cumple	8.918E-06	Cumple
20:50	2.552E-05	Cumple	9.864E-06	Cumple	9.245E-06	Cumple
21:00	2.627E-05	Cumple	1.016E-05	Cumple	9.566E-06	Cumple
21:10	2.700E-05	Cumple	1.045E-05	Cumple	9.877E-06	Cumple
21:20	2.771E-05	Cumple	1.071E-05	Cumple	1.017E-05	Cumple
21:30	2.837E-05	Cumple	1.096E-05	Cumple	1.045E-05	Cumple
21:40	2.907E-05	Cumple	1.121E-05	Cumple	1.076E-05	Cumple
21:50	2.993E-05	Cumple	1.154E-05	Cumple	1.114E-05	Cumple
22:00	3.088E-05	Cumple	1.192E-05	Cumple	1.156E-05	Cumple
22:10	3.177E-05	Cumple	1.228E-05	Cumple	1.197E-05	Cumple
22:20	3.263E-05	Cumple	1.263E-05	Cumple	1.235E-05	Cumple
22:30	3.345E-05	Cumple	1.295E-05	Cumple	1.273E-05	Cumple
22:40	3.426E-05	Cumple	1.328E-05	Cumple	1.310E-05	Cumple

22:50	3.505E-05	Cumple	1.361E-05	Cumple	1.345E-05	Cumple
23:00	3.575E-05	Cumple	1.393E-05	Cumple	1.371E-05	Cumple
23:10	3.634E-05	Cumple	1.424E-05	Cumple	1.390E-05	Cumple
23:20	3.695E-05	Cumple	1.457E-05	Cumple	1.409E-05	Cumple
23:30	3.754E-05	Cumple	1.489E-05	Cumple	1.428E-05	Cumple
23:40	3.814E-05	Cumple	1.521E-05	Cumple	1.447E-05	Cumple
23:50	3.874E-05	Cumple	1.55E-05	Cumple	1.465E-05	Cumple

Anexo G. Cálculo del flicker para el Caso Base.

Tiempo	$P_{st1}$		$P_{st2}$		$P_{st3}$	
0:00	0	Cumple	0	Cumple	0	Cumple
0:10	0	Cumple	0	Cumple	0	Cumple
0:20	2.728E-08	Cumple	1.563E-08	Cumple	1.019E-08	Cumple
0:30	5.478E-08	Cumple	3.076E-08	Cumple	2.085E-08	Cumple
0:40	8.977E-08	Cumple	5.338E-08	Cumple	3.189E-08	Cumple
0:50	1.502E-07	Cumple	9.653E-08	Cumple	4.760E-08	Cumple
1:00	2.142E-07	Cumple	1.423E-07	Cumple	6.673E-08	Cumple
1:10	2.398E-07	Cumple	1.646E-07	Cumple	7.555E-08	Cumple
1:20	2.720E-07	Cumple	1.892E-07	Cumple	8.790E-08	Cumple
1:30	3.184E-07	Cumple	2.294E-07	Cumple	9.882E-08	Cumple
1:40	3.731E-07	Cumple	2.819E-07	Cumple	1.065E-07	Cumple
1:50	4.361E-07	Cumple	3.359E-07	Cumple	1.193E-07	Cumple
2:00	5.114E-07	Cumple	3.949E-07	Cumple	1.368E-07	Cumple
2:10	6.005E-07	Cumple	4.626E-07	Cumple	1.569E-07	Cumple
2:20	6.777E-07	Cumple	5.209E-07	Cumple	1.735E-07	Cumple
2:30	6.991E-07	Cumple	5.558E-07	Cumple	1.623E-07	Cumple
2:40	6.820E-07	Cumple	5.797E-07	Cumple	1.276E-07	Cumple
2:50	6.579E-07	Cumple	5.946E-07	Cumple	9.349E-08	Cumple
3:00	6.310E-07	Cumple	5.997E-07	Cumple	6.450E-08	Cumple
3:10	5.788E-07	Cumple	5.941E-07	Cumple	2.273E-08	Cumple
3:20	1.791E-07	Cumple	2.578E-07	Cumple	2.477E-08	Cumple
3:30	5.469E-07	Cumple	3.985E-07	Cumple	6.898E-08	Cumple
3:40	1.252E-06	Cumple	1.035E-06	Cumple	1.129E-07	Cumple
3:50	1.947E-06	Cumple	1.663E-06	Cumple	1.558E-07	Cumple
4:00	2.608E-06	Cumple	2.279E-06	Cumple	1.814E-07	Cumple
4:10	2.776E-06	Cumple	2.881E-06	Cumple	2.664E-07	Cumple
4:20	2.489E-06	Cumple	3.480E-06	Cumple	1.161E-06	Cumple
4:30	2.209E-06	Cumple	4.069E-06	Cumple	2.039E-06	Cumple
4:40	1.906E-06	Cumple	4.635E-06	Cumple	2.911E-06	Cumple
4:50	1.620E-06	Cumple	5.191E-06	Cumple	3.762E-06	Cumple
5:00	1.351E-06	Cumple	5.739E-06	Cumple	4.592E-06	Cumple
5:10	1.139E-06	Cumple	6.300E-06	Cumple	5.383E-06	Cumple
5:20	9.064E-07	Cumple	6.839E-06	Cumple	6.168E-06	Cumple
5:30	6.510E-07	Cumple	7.362E-06	Cumple	6.956E-06	Cumple
5:40	4.210E-07	Cumple	7.890E-06	Cumple	7.724E-06	Cumple

5:50	3.671E-07	Cumple	8.541E-06	Cumple	8.459E-06	Cumple
6:00	4.291E-07	Cumple	9.286E-06	Cumple	9.188E-06	Cumple
6:10	4.140E-07	Cumple	9.990E-06	Cumple	9.941E-06	Cumple
6:20	3.022E-07	Cumple	1.062E-05	Cumple	1.071E-05	Cumple
6:30	5.503E-08	Cumple	1.115E-05	Cumple	1.150E-05	Cumple
6:40	1.091E-07	Cumple	1.172E-05	Cumple	1.224E-05	Cumple
6:50	1.823E-07	Cumple	1.235E-05	Cumple	1.294E-05	Cumple
7:00	2.775E-07	Cumple	1.294E-05	Cumple	1.362E-05	Cumple
7:10	3.341E-07	Cumple	1.352E-05	Cumple	1.426E-05	Cumple
7:20	3.410E-07	Cumple	1.411E-05	Cumple	1.486E-05	Cumple
7:30	3.997E-07	Cumple	1.466E-05	Cumple	1.546E-05	Cumple
7:40	5.001E-07	Cumple	1.518E-05	Cumple	1.605E-05	Cumple
7:50	6.684E-07	Cumple	1.567E-05	Cumple	1.665E-05	Cumple
8:00	9.169E-07	Cumple	1.610E-05	Cumple	1.727E-05	Cumple
8:10	1.165E-06	Cumple	1.649E-05	Cumple	1.786E-05	Cumple
8:20	1.423E-06	Cumple	1.686E-05	Cumple	1.844E-05	Cumple
8:30	1.707E-06	Cumple	1.721E-05	Cumple	1.902E-05	Cumple
8:40	2.039E-06	Cumple	1.754E-05	Cumple	1.961E-05	Cumple
8:50	2.392E-06	Cumple	1.784E-05	Cumple	2.019E-05	Cumple
9:00	2.779E-06	Cumple	1.812E-05	Cumple	2.078E-05	Cumple
9:10	3.225E-06	Cumple	1.836E-05	Cumple	2.139E-05	Cumple
9:20	3.711E-06	Cumple	1.857E-05	Cumple	2.200E-05	Cumple
9:30	4.169E-06	Cumple	1.881E-05	Cumple	2.261E-05	Cumple
9:40	4.550E-06	Cumple	1.907E-05	Cumple	2.317E-05	Cumple
9:50	4.895E-06	Cumple	1.934E-05	Cumple	2.370E-05	Cumple
10:00	5.274E-06	Cumple	1.958E-05	Cumple	2.424E-05	Cumple
10:10	5.685E-06	Cumple	1.980E-05	Cumple	2.479E-05	Cumple
10:20	6.053E-06	Cumple	2.003E-05	Cumple	2.531E-05	Cumple
10:30	6.413E-06	Cumple	2.026E-05	Cumple	2.582E-05	Cumple
10:40	6.817E-06	Cumple	2.046E-05	Cumple	2.635E-05	Cumple
10:50	7.226E-06	Cumple	2.064E-05	Cumple	2.686E-05	Cumple
11:00	7.645E-06	Cumple	2.079E-05	Cumple	2.735E-05	Cumple
11:10	8.091E-06	Cumple	2.091E-05	Cumple	2.784E-05	Cumple
11:20	8.556E-06	Cumple	2.101E-05	Cumple	2.833E-05	Cumple
11:30	9.038E-06	Cumple	2.108E-05	Cumple	2.881E-05	Cumple
11:40	9.511E-06	Cumple	2.112E-05	Cumple	2.925E-05	Cumple
11:50	1.003E-05	Cumple	2.112E-05	Cumple	2.969E-05	Cumple
12:00	1.056E-05	Cumple	2.108E-05	Cumple	3.011E-05	Cumple
12:10	1.109E-05	Cumple	2.103E-05	Cumple	3.053E-05	Cumple
12:20	1.162E-05	Cumple	2.098E-05	Cumple	3.093E-05	Cumple
12:30	1.217E-05	Cumple	2.093E-05	Cumple	3.134E-05	Cumple
12:40	1.278E-05	Cumple	2.086E-05	Cumple	3.177E-05	Cumple
12:50	1.341E-05	Cumple	2.077E-05	Cumple	3.221E-05	Cumple
13:00	1.406E-05	Cumple	2.065E-05	Cumple	3.264E-05	Cumple
13:10	1.469E-05	Cumple	2.053E-05	Cumple	3.305E-05	Cumple

13:20	1.529E-05	Cumple	2.042E-05	Cumple	3.345E-05	Cumple
13:30	1.581E-05	Cumple	2.035E-05	Cumple	3.381E-05	Cumple
13:40	1.627E-05	Cumple	2.031E-05	Cumple	3.413E-05	Cumple
13:50	1.673E-05	Cumple	2.025E-05	Cumple	3.443E-05	Cumple
14:00	1.717E-05	Cumple	2.018E-05	Cumple	3.470E-05	Cumple
14:10	1.755E-05	Cumple	2.011E-05	Cumple	3.494E-05	Cumple
14:20	1.791E-05	Cumple	2.006E-05	Cumple	3.515E-05	Cumple
14:30	1.828E-05	Cumple	2.001E-05	Cumple	3.538E-05	Cumple
14:40	1.868E-05	Cumple	1.994E-05	Cumple	3.561E-05	Cumple
14:50	1.907E-05	Cumple	1.985E-05	Cumple	3.584E-05	Cumple
15:00	1.940E-05	Cumple	1.981E-05	Cumple	3.604E-05	Cumple
15:10	1.969E-05	Cumple	1.978E-05	Cumple	3.622E-05	Cumple
15:20	1.997E-05	Cumple	1.974E-05	Cumple	3.639E-05	Cumple
15:30	2.023E-05	Cumple	1.971E-05	Cumple	3.656E-05	Cumple
15:40	2.046E-05	Cumple	1.971E-05	Cumple	3.672E-05	Cumple
15:50	2.063E-05	Cumple	1.973E-05	Cumple	3.686E-05	Cumple
16:00	2.080E-05	Cumple	1.975E-05	Cumple	3.699E-05	Cumple
16:10	2.098E-05	Cumple	1.976E-05	Cumple	3.712E-05	Cumple
16:20	2.111E-05	Cumple	1.980E-05	Cumple	3.724E-05	Cumple
16:30	2.121E-05	Cumple	1.984E-05	Cumple	3.734E-05	Cumple
16:40	2.185E-05	Cumple	1.937E-05	Cumple	3.745E-05	Cumple
16:50	2.294E-05	Cumple	1.844E-05	Cumple	3.754E-05	Cumple
17:00	2.396E-05	Cumple	1.756E-05	Cumple	3.760E-05	Cumple
17:10	2.493E-05	Cumple	1.669E-05	Cumple	3.764E-05	Cumple
17:20	2.603E-05	Cumple	1.585E-05	Cumple	3.783E-05	Cumple
17:30	2.723E-05	Cumple	1.507E-05	Cumple	3.818E-05	Cumple
17:40	2.843E-05	Cumple	1.430E-05	Cumple	3.853E-05	Cumple
17:50	2.957E-05	Cumple	1.355E-05	Cumple	3.885E-05	Cumple
18:00	3.099E-05	Cumple	1.266E-05	Cumple	3.928E-05	Cumple
18:10	3.270E-05	Cumple	1.163E-05	Cumple	3.983E-05	Cumple
18:20	3.441E-05	Cumple	1.061E-05	Cumple	4.039E-05	Cumple
18:30	3.618E-05	Cumple	9.567E-06	Cumple	4.099E-05	Cumple
18:40	3.789E-05	Cumple	8.558E-06	Cumple	4.156E-05	Cumple
18:50	3.962E-05	Cumple	7.556E-06	Cumple	4.215E-05	Cumple
19:00	4.130E-05	Cumple	6.605E-06	Cumple	4.275E-05	Cumple
19:10	4.338E-05	Cumple	5.245E-06	Cumple	4.332E-05	Cumple
19:20	4.590E-05	Cumple	3.460E-06	Cumple	4.387E-05	Cumple
19:30	4.837E-05	Cumple	1.709E-06	Cumple	4.441E-05	Cumple
19:40	5.071E-05	Cumple	1.257E-08	Cumple	4.489E-05	Cumple
19:50	5.299E-05	Cumple	1.633E-06	Cumple	4.535E-05	Cumple
20:00	5.522E-05	Cumple	3.251E-06	Cumple	4.580E-05	Cumple
20:10	5.738E-05	Cumple	4.814E-06	Cumple	4.623E-05	Cumple
20:20	5.948E-05	Cumple	6.341E-06	Cumple	4.664E-05	Cumple
20:30	6.155E-05	Cumple	7.859E-06	Cumple	4.702E-05	Cumple
20:40	6.363E-05	Cumple	9.390E-06	Cumple	4.740E-05	Cumple

20:50	6.542E-05	Cumple	1.060E-05	Cumple	4.782E-05	Cumple
21:00	6.682E-05	Cumple	1.144E-05	Cumple	4.823E-05	Cumple
21:10	6.816E-05	Cumple	1.223E-05	Cumple	4.863E-05	Cumple
21:20	6.944E-05	Cumple	1.297E-05	Cumple	4.900E-05	Cumple
21:30	7.019E-05	Cumple	1.368E-05	Cumple	4.890E-05	Cumple
21:40	7.047E-05	Cumple	1.439E-05	Cumple	4.836E-05	Cumple
21:50	7.093E-05	Cumple	1.516E-05	Cumple	4.791E-05	Cumple
22:00	7.149E-05	Cumple	1.599E-05	Cumple	4.752E-05	Cumple
22:10	7.200E-05	Cumple	1.678E-05	Cumple	4.712E-05	Cumple
22:20	7.248E-05	Cumple	1.755E-05	Cumple	4.673E-05	Cumple
22:30	7.294E-05	Cumple	1.829E-05	Cumple	4.634E-05	Cumple
22:40	7.340E-05	Cumple	1.902E-05	Cumple	4.596E-05	Cumple
22:50	7.386E-05	Cumple	1.975E-05	Cumple	4.559E-05	Cumple
23:00	7.422E-05	Cumple	2.046E-05	Cumple	4.514E-05	Cumple
23:10	7.448E-05	Cumple	2.116E-05	Cumple	4.463E-05	Cumple
23:20	7.476E-05	Cumple	2.186E-05	Cumple	4.414E-05	Cumple
23:30	7.504E-05	Cumple	2.255E-05	Cumple	4.366E-05	Cumple
23:40	7.532E-05	Cumple	2.323E-05	Cumple	4.319E-05	Cumple
23:50	7.562E-05	Cumple	2.391E-05	Cumple	4.273E-05	Cumple

Anexo H. Cálculo del flicker para el nivel de penetración del 5%.

Tiempo	$P_{st1}$		$P_{st2}$		$P_{st3}$	
0:00	0	Cumple	0	Cumple	0	Cumple
0:10	0	Cumple	0	Cumple	0	Cumple
0:20	8.663E-07	Cumple	9.479E-07	Cumple	1.131E-07	Cumple
0:30	1.687E-06	Cumple	1.848E-06	Cumple	2.223E-07	Cumple
0:40	2.185E-06	Cumple	2.896E-06	Cumple	7.989E-07	Cumple
0:50	1.899E-06	Cumple	3.643E-06	Cumple	1.836E-06	Cumple
1:00	1.245E-06	Cumple	4.010E-06	Cumple	2.851E-06	Cumple
1:10	6.497E-07	Cumple	4.396E-06	Cumple	3.829E-06	Cumple
1:20	6.155E-07	Cumple	4.700E-06	Cumple	4.767E-06	Cumple
1:30	5.812E-07	Cumple	4.985E-06	Cumple	5.639E-06	Cumple
1:40	1.122E-06	Cumple	5.271E-06	Cumple	6.463E-06	Cumple
1:50	1.633E-06	Cumple	5.572E-06	Cumple	7.272E-06	Cumple
2:00	2.154E-06	Cumple	5.849E-06	Cumple	8.066E-06	Cumple
2:10	3.177E-06	Cumple	6.096E-06	Cumple	9.317E-06	Cumple
2:20	4.665E-06	Cumple	6.328E-06	Cumple	1.101E-05	Cumple
2:30	6.084E-06	Cumple	6.559E-06	Cumple	1.264E-05	Cumple
2:40	7.458E-06	Cumple	6.772E-06	Cumple	1.421E-05	Cumple
2:50	8.821E-06	Cumple	6.964E-06	Cumple	1.574E-05	Cumple
3:00	1.017E-05	Cumple	7.137E-06	Cumple	1.725E-05	Cumple
3:10	1.149E-05	Cumple	7.296E-06	Cumple	1.870E-05	Cumple
3:20	1.280E-05	Cumple	7.422E-06	Cumple	2.011E-05	Cumple
3:30	1.411E-05	Cumple	7.513E-06	Cumple	2.149E-05	Cumple
3:40	1.531E-05	Cumple	7.671E-06	Cumple	2.283E-05	Cumple



3:50	1.639E-05	Cumple	7.912E-06	Cumple	2.413E-05	Cumple
4:00	1.749E-05	Cumple	8.127E-06	Cumple	2.542E-05	Cumple
4:10	1.858E-05	Cumple	8.313E-06	Cumple	2.668E-05	Cumple
4:20	1.965E-05	Cumple	8.483E-06	Cumple	2.790E-05	Cumple
4:30	2.071E-05	Cumple	8.632E-06	Cumple	2.909E-05	Cumple
4:40	2.180E-05	Cumple	8.745E-06	Cumple	3.027E-05	Cumple
4:50	2.288E-05	Cumple	8.837E-06	Cumple	3.142E-05	Cumple
5:00	2.394E-05	Cumple	8.911E-06	Cumple	3.254E-05	Cumple
5:10	2.495E-05	Cumple	8.987E-06	Cumple	3.362E-05	Cumple
5:20	2.598E-05	Cumple	9.030E-06	Cumple	3.467E-05	Cumple
5:30	2.703E-05	Cumple	9.048E-06	Cumple	3.572E-05	Cumple
5:40	2.806E-05	Cumple	9.060E-06	Cumple	3.675E-05	Cumple
5:50	2.891E-05	Cumple	9.186E-06	Cumple	3.773E-05	Cumple
6:00	2.965E-05	Cumple	9.397E-06	Cumple	3.869E-05	Cumple
6:10	3.046E-05	Cumple	9.556E-06	Cumple	3.967E-05	Cumple
6:20	3.137E-05	Cumple	9.637E-06	Cumple	4.066E-05	Cumple
6:30	3.242E-05	Cumple	9.607E-06	Cumple	4.167E-05	Cumple
6:40	3.291E-05	Cumple	9.601E-06	Cumple	4.214E-05	Cumple
6:50	3.285E-05	Cumple	9.643E-06	Cumple	4.209E-05	Cumple
7:00	3.282E-05	Cumple	9.648E-06	Cumple	4.205E-05	Cumple
7:10	3.278E-05	Cumple	9.630E-06	Cumple	4.198E-05	Cumple
7:20	3.271E-05	Cumple	9.613E-06	Cumple	4.188E-05	Cumple
7:30	3.272E-05	Cumple	9.549E-06	Cumple	4.180E-05	Cumple
7:40	3.278E-05	Cumple	9.448E-06	Cumple	4.172E-05	Cumple
7:50	3.294E-05	Cumple	9.303E-06	Cumple	4.165E-05	Cumple
8:00	3.319E-05	Cumple	9.093E-06	Cumple	4.162E-05	Cumple
8:10	3.346E-05	Cumple	8.847E-06	Cumple	4.157E-05	Cumple
8:20	3.376E-05	Cumple	8.567E-06	Cumple	4.152E-05	Cumple
8:30	3.410E-05	Cumple	8.257E-06	Cumple	4.149E-05	Cumple
8:40	3.451E-05	Cumple	7.918E-06	Cumple	4.147E-05	Cumple
8:50	3.496E-05	Cumple	7.553E-06	Cumple	4.146E-05	Cumple
9:00	3.546E-05	Cumple	7.156E-06	Cumple	4.146E-05	Cumple
9:10	3.603E-05	Cumple	6.714E-06	Cumple	4.149E-05	Cumple
9:20	3.666E-05	Cumple	6.240E-06	Cumple	4.154E-05	Cumple
9:30	3.728E-05	Cumple	5.777E-06	Cumple	4.160E-05	Cumple
9:40	3.783E-05	Cumple	5.342E-06	Cumple	4.162E-05	Cumple
9:50	3.837E-05	Cumple	4.905E-06	Cumple	4.161E-05	Cumple
10:00	3.895E-05	Cumple	4.438E-06	Cumple	4.162E-05	Cumple
10:10	3.958E-05	Cumple	3.941E-06	Cumple	4.165E-05	Cumple
10:20	4.018E-05	Cumple	3.450E-06	Cumple	4.166E-05	Cumple
10:30	4.079E-05	Cumple	2.954E-06	Cumple	4.168E-05	Cumple
10:40	4.193E-05	Cumple	2.425E-06	Cumple	4.218E-05	Cumple
10:50	4.355E-05	Cumple	1.868E-06	Cumple	4.313E-05	Cumple
11:00	4.516E-05	Cumple	1.277E-06	Cumple	4.404E-05	Cumple
11:10	4.680E-05	Cumple	6.548E-07	Cumple	4.495E-05	Cumple



11:20	4.845E-05	Cumple	2.893E-08	Cumple	4.584E-05	Cumple
11:30	5.011E-05	Cumple	6.742E-07	Cumple	4.671E-05	Cumple
11:40	5.176E-05	Cumple	1.385E-06	Cumple	4.754E-05	Cumple
11:50	5.344E-05	Cumple	2.150E-06	Cumple	4.835E-05	Cumple
12:00	5.514E-05	Cumple	2.954E-06	Cumple	4.913E-05	Cumple
12:10	5.682E-05	Cumple	3.767E-06	Cumple	4.989E-05	Cumple
12:20	5.848E-05	Cumple	4.588E-06	Cumple	5.063E-05	Cumple
12:30	6.017E-05	Cumple	5.419E-06	Cumple	5.136E-05	Cumple
12:40	6.190E-05	Cumple	6.265E-06	Cumple	5.210E-05	Cumple
12:50	6.365E-05	Cumple	7.137E-06	Cumple	5.284E-05	Cumple
13:00	6.542E-05	Cumple	8.046E-06	Cumple	5.356E-05	Cumple
13:10	6.717E-05	Cumple	8.961E-06	Cumple	5.426E-05	Cumple
13:20	6.887E-05	Cumple	9.864E-06	Cumple	5.494E-05	Cumple
13:30	7.050E-05	Cumple	1.073E-05	Cumple	5.557E-05	Cumple
13:40	7.206E-05	Cumple	1.157E-05	Cumple	5.615E-05	Cumple
13:50	7.360E-05	Cumple	1.243E-05	Cumple	5.671E-05	Cumple
14:00	7.513E-05	Cumple	1.331E-05	Cumple	5.723E-05	Cumple
14:10	7.660E-05	Cumple	1.419E-05	Cumple	5.770E-05	Cumple
14:20	7.804E-05	Cumple	1.505E-05	Cumple	5.815E-05	Cumple
14:30	7.948E-05	Cumple	1.592E-05	Cumple	5.860E-05	Cumple
14:40	8.095E-05	Cumple	1.681E-05	Cumple	5.905E-05	Cumple
14:50	8.241E-05	Cumple	1.772E-05	Cumple	5.948E-05	Cumple
15:00	8.379E-05	Cumple	1.858E-05	Cumple	5.988E-05	Cumple
15:10	8.438E-05	Cumple	1.871E-05	Cumple	6.025E-05	Cumple
15:20	8.375E-05	Cumple	1.815E-05	Cumple	6.015E-05	Cumple
15:30	8.267E-05	Cumple	1.762E-05	Cumple	5.957E-05	Cumple
15:40	8.144E-05	Cumple	1.695E-05	Cumple	5.899E-05	Cumple
15:50	8.039E-05	Cumple	1.646E-05	Cumple	5.841E-05	Cumple
16:00	7.965E-05	Cumple	1.626E-05	Cumple	5.783E-05	Cumple
16:10	7.893E-05	Cumple	1.607E-05	Cumple	5.727E-05	Cumple
16:20	7.823E-05	Cumple	1.591E-05	Cumple	5.670E-05	Cumple
16:30	7.754E-05	Cumple	1.576E-05	Cumple	5.613E-05	Cumple
16:40	7.690E-05	Cumple	1.564E-05	Cumple	5.558E-05	Cumple
16:50	7.624E-05	Cumple	1.551E-05	Cumple	5.503E-05	Cumple
17:00	7.556E-05	Cumple	1.538E-05	Cumple	5.446E-05	Cumple
17:10	7.488E-05	Cumple	1.527E-05	Cumple	5.388E-05	Cumple
17:20	7.439E-05	Cumple	1.517E-05	Cumple	5.346E-05	Cumple
17:30	7.406E-05	Cumple	1.506E-05	Cumple	5.320E-05	Cumple
17:40	7.378E-05	Cumple	1.498E-05	Cumple	5.296E-05	Cumple
17:50	7.348E-05	Cumple	1.491E-05	Cumple	5.270E-05	Cumple
18:00	7.352E-05	Cumple	1.502E-05	Cumple	5.257E-05	Cumple
18:10	7.388E-05	Cumple	1.530E-05	Cumple	5.256E-05	Cumple
18:20	7.429E-05	Cumple	1.561E-05	Cumple	5.257E-05	Cumple
18:30	7.480E-05	Cumple	1.597E-05	Cumple	5.263E-05	Cumple
18:40	7.523E-05	Cumple	1.626E-05	Cumple	5.267E-05	Cumple

18:50	7.564E-05	Cumple	1.650E-05	Cumple	5.274E-05	Cumple
19:00	7.605E-05	Cumple	1.672E-05	Cumple	5.283E-05	Cumple
19:10	7.641E-05	Cumple	1.692E-05	Cumple	5.290E-05	Cumple
19:20	7.678E-05	Cumple	1.711E-05	Cumple	5.296E-05	Cumple
19:30	7.716E-05	Cumple	1.733E-05	Cumple	5.301E-05	Cumple
19:40	7.747E-05	Cumple	1.753E-05	Cumple	5.302E-05	Cumple
19:50	7.676E-05	Cumple	1.776E-05	Cumple	5.201E-05	Cumple
20:00	7.507E-05	Cumple	1.801E-05	Cumple	5.001E-05	Cumple
20:10	7.360E-05	Cumple	1.825E-05	Cumple	4.824E-05	Cumple
20:20	7.193E-05	Cumple	1.850E-05	Cumple	4.624E-05	Cumple
20:30	6.998E-05	Cumple	1.879E-05	Cumple	4.394E-05	Cumple
20:40	6.818E-05	Cumple	1.915E-05	Cumple	4.171E-05	Cumple
20:50	6.649E-05	Cumple	1.958E-05	Cumple	3.951E-05	Cumple
21:00	6.490E-05	Cumple	2.003E-05	Cumple	3.739E-05	Cumple
21:10	6.342E-05	Cumple	2.049E-05	Cumple	3.536E-05	Cumple
21:20	6.201E-05	Cumple	2.094E-05	Cumple	3.339E-05	Cumple
21:30	6.064E-05	Cumple	2.139E-05	Cumple	3.147E-05	Cumple
21:40	5.936E-05	Cumple	2.186E-05	Cumple	2.962E-05	Cumple
21:50	5.831E-05	Cumple	2.243E-05	Cumple	2.790E-05	Cumple
22:00	5.743E-05	Cumple	2.306E-05	Cumple	2.627E-05	Cumple
22:10	5.653E-05	Cumple	2.369E-05	Cumple	2.466E-05	Cumple
22:20	5.615E-05	Cumple	2.432E-05	Cumple	2.355E-05	Cumple
22:30	5.627E-05	Cumple	2.494E-05	Cumple	2.293E-05	Cumple
22:40	5.641E-05	Cumple	2.558E-05	Cumple	2.233E-05	Cumple
22:50	5.657E-05	Cumple	2.623E-05	Cumple	2.173E-05	Cumple
23:00	5.667E-05	Cumple	2.689E-05	Cumple	2.107E-05	Cumple
23:10	5.577E-05	Cumple	2.657E-05	Cumple	2.044E-05	Cumple
23:20	5.402E-05	Cumple	2.531E-05	Cumple	1.993E-05	Cumple
23:30	5.234E-05	Cumple	2.411E-05	Cumple	1.944E-05	Cumple
23:40	5.099E-05	Cumple	2.276E-05	Cumple	1.942E-05	Cumple
23:50	5.045E-05	Cumple	2.172E-05	Cumple	1.988E-05	Cumple

Anexo I. Cálculo del flicker para el nivel de penetración del 10%.

Tiempo	$P_{st1}$		$P_{st2}$		$P_{st3}$	
0:00	0	Cumple	0	Cumple	0	Cumple
0:10	0	Cumple	0	Cumple	0	Cumple
0:20	4.366E-07	Cumple	4.388E-07	Cumple	1.255E-08	Cumple
0:30	8.411E-07	Cumple	8.471E-07	Cumple	2.542E-08	Cumple
0:40	7.176E-07	Cumple	7.365E-07	Cumple	3.401E-08	Cumple
0:50	1.087E-06	Cumple	1.068E-07	Cumple	9.453E-07	Cumple
1:00	2.452E-06	Cumple	5.280E-07	Cumple	2.887E-06	Cumple
1:10	3.799E-06	Cumple	1.145E-06	Cumple	4.789E-06	Cumple
1:20	4.590E-06	Cumple	2.251E-06	Cumple	6.642E-06	Cumple
1:30	5.848E-06	Cumple	3.865E-06	Cumple	9.455E-06	Cumple
1:40	8.043E-06	Cumple	5.501E-06	Cumple	1.320E-05	Cumple

1:50	1.014E-05	Cumple	7.133E-06	Cumple	1.685E-05	Cumple
2:00	1.280E-05	Cumple	8.753E-06	Cumple	2.104E-05	Cumple
2:10	1.592E-05	Cumple	1.037E-05	Cumple	2.566E-05	Cumple
2:20	1.894E-05	Cumple	1.195E-05	Cumple	3.017E-05	Cumple
2:30	2.200E-05	Cumple	1.349E-05	Cumple	3.466E-05	Cumple
2:40	2.502E-05	Cumple	1.498E-05	Cumple	3.907E-05	Cumple
2:50	2.773E-05	Cumple	1.644E-05	Cumple	4.314E-05	Cumple
3:00	3.109E-05	Cumple	1.737E-05	Cumple	4.731E-05	Cumple
3:10	3.522E-05	Cumple	1.780E-05	Cumple	5.173E-05	Cumple
3:20	3.922E-05	Cumple	1.825E-05	Cumple	5.603E-05	Cumple
3:30	4.314E-05	Cumple	1.872E-05	Cumple	6.028E-05	Cumple
3:40	4.694E-05	Cumple	1.920E-05	Cumple	6.443E-05	Cumple
3:50	4.893E-05	Cumple	2.131E-05	Cumple	6.846E-05	Cumple
4:00	4.912E-05	Cumple	2.500E-05	Cumple	7.235E-05	Cumple
4:10	5.001E-05	Cumple	2.863E-05	Cumple	7.685E-05	Cumple
4:20	5.162E-05	Cumple	3.218E-05	Cumple	8.198E-05	Cumple
4:30	5.317E-05	Cumple	3.567E-05	Cumple	8.699E-05	Cumple
4:40	5.465E-05	Cumple	3.909E-05	Cumple	9.187E-05	Cumple
4:50	5.609E-05	Cumple	4.245E-05	Cumple	9.664E-05	Cumple
5:00	5.761E-05	Cumple	4.573E-05	Cumple	1.014E-04	Cumple
5:10	5.922E-05	Cumple	4.893E-05	Cumple	1.062E-04	Cumple
5:20	6.090E-05	Cumple	5.209E-05	Cumple	1.110E-04	Cumple
5:30	6.232E-05	Cumple	5.520E-05	Cumple	1.155E-04	Cumple
5:40	6.347E-05	Cumple	5.824E-05	Cumple	1.197E-04	Cumple
5:50	6.464E-05	Cumple	6.110E-05	Cumple	1.236E-04	Cumple
6:00	6.570E-05	Cumple	6.380E-05	Cumple	1.274E-04	Cumple
6:10	6.660E-05	Cumple	6.649E-05	Cumple	1.309E-04	Cumple
6:20	6.733E-05	Cumple	6.919E-05	Cumple	1.343E-04	Cumple
6:30	6.789E-05	Cumple	7.193E-05	Cumple	1.376E-04	Cumple
6:40	6.849E-05	Cumple	7.457E-05	Cumple	1.408E-04	Cumple
6:50	6.866E-05	Cumple	7.757E-05	Cumple	1.440E-04	Cumple
7:00	6.832E-05	Cumple	8.100E-05	Cumple	1.471E-04	Cumple
7:10	6.800E-05	Cumple	8.437E-05	Cumple	1.502E-04	Cumple
7:20	6.822E-05	Cumple	8.717E-05	Cumple	1.533E-04	Cumple
7:30	6.885E-05	Cumple	8.948E-05	Cumple	1.562E-04	Cumple
7:40	6.942E-05	Cumple	9.175E-05	Cumple	1.591E-04	Cumple
7:50	6.991E-05	Cumple	9.401E-05	Cumple	1.619E-04	Cumple
8:00	7.033E-05	Cumple	9.625E-05	Cumple	1.646E-04	Cumple
8:10	7.073E-05	Cumple	9.846E-05	Cumple	1.672E-04	Cumple
8:20	7.118E-05	Cumple	1.006E-04	Cumple	1.699E-04	Cumple
8:30	7.167E-05	Cumple	1.028E-04	Cumple	1.726E-04	Cumple
8:40	7.211E-05	Cumple	1.049E-04	Cumple	1.752E-04	Cumple
8:50	7.250E-05	Cumple	1.070E-04	Cumple	1.777E-04	Cumple
9:00	7.284E-05	Cumple	1.090E-04	Cumple	1.802E-04	Cumple
9:10	7.310E-05	Cumple	1.111E-04	Cumple	1.826E-04	Cumple

9:20	7.329E-05	Cumple	1.131E-04	Cumple	1.849E-04	Cumple
9:30	7.348E-05	Cumple	1.151E-04	Cumple	1.872E-04	Cumple
9:40	7.372E-05	Cumple	1.170E-04	Cumple	1.894E-04	Cumple
9:50	7.398E-05	Cumple	1.189E-04	Cumple	1.916E-04	Cumple
10:00	7.369E-05	Cumple	1.212E-04	Cumple	1.938E-04	Cumple
10:10	7.288E-05	Cumple	1.240E-04	Cumple	1.958E-04	Cumple
10:20	7.210E-05	Cumple	1.267E-04	Cumple	1.979E-04	Cumple
10:30	7.135E-05	Cumple	1.294E-04	Cumple	1.999E-04	Cumple
10:40	7.057E-05	Cumple	1.320E-04	Cumple	2.018E-04	Cumple
10:50	6.978E-05	Cumple	1.346E-04	Cumple	2.037E-04	Cumple
11:00	6.899E-05	Cumple	1.371E-04	Cumple	2.055E-04	Cumple
11:10	6.816E-05	Cumple	1.397E-04	Cumple	2.073E-04	Cumple
11:20	6.730E-05	Cumple	1.422E-04	Cumple	2.091E-04	Cumple
11:30	6.640E-05	Cumple	1.447E-04	Cumple	2.108E-04	Cumple
11:40	6.551E-05	Cumple	1.471E-04	Cumple	2.125E-04	Cumple
11:50	6.457E-05	Cumple	1.496E-04	Cumple	2.141E-04	Cumple
12:00	6.361E-05	Cumple	1.521E-04	Cumple	2.157E-04	Cumple
12:10	6.263E-05	Cumple	1.545E-04	Cumple	2.172E-04	Cumple
12:20	6.167E-05	Cumple	1.569E-04	Cumple	2.187E-04	Cumple
12:30	6.068E-05	Cumple	1.592E-04	Cumple	2.202E-04	Cumple
12:40	5.963E-05	Cumple	1.615E-04	Cumple	2.216E-04	Cumple
12:50	5.857E-05	Cumple	1.638E-04	Cumple	2.230E-04	Cumple
13:00	5.751E-05	Cumple	1.661E-04	Cumple	2.243E-04	Cumple
13:10	5.646E-05	Cumple	1.683E-04	Cumple	2.256E-04	Cumple
13:20	5.545E-05	Cumple	1.705E-04	Cumple	2.269E-04	Cumple
13:30	5.451E-05	Cumple	1.726E-04	Cumple	2.282E-04	Cumple
13:40	5.361E-05	Cumple	1.747E-04	Cumple	2.294E-04	Cumple
13:50	5.222E-05	Cumple	1.772E-04	Cumple	2.307E-04	Cumple
14:00	5.035E-05	Cumple	1.801E-04	Cumple	2.319E-04	Cumple
14:10	4.856E-05	Cumple	1.830E-04	Cumple	2.332E-04	Cumple
14:20	4.683E-05	Cumple	1.858E-04	Cumple	2.344E-04	Cumple
14:30	4.511E-05	Cumple	1.886E-04	Cumple	2.355E-04	Cumple
14:40	4.338E-05	Cumple	1.913E-04	Cumple	2.367E-04	Cumple
14:50	4.168E-05	Cumple	1.940E-04	Cumple	2.378E-04	Cumple
15:00	4.008E-05	Cumple	1.966E-04	Cumple	2.389E-04	Cumple
15:10	3.854E-05	Cumple	1.991E-04	Cumple	2.400E-04	Cumple
15:20	3.701E-05	Cumple	2.016E-04	Cumple	2.411E-04	Cumple
15:30	3.551E-05	Cumple	2.040E-04	Cumple	2.421E-04	Cumple
15:40	3.407E-05	Cumple	2.064E-04	Cumple	2.432E-04	Cumple
15:50	3.269E-05	Cumple	2.087E-04	Cumple	2.442E-04	Cumple
16:00	3.132E-05	Cumple	2.110E-04	Cumple	2.452E-04	Cumple
16:10	2.997E-05	Cumple	2.132E-04	Cumple	2.462E-04	Cumple
16:20	2.869E-05	Cumple	2.153E-04	Cumple	2.471E-04	Cumple
16:30	2.746E-05	Cumple	2.174E-04	Cumple	2.481E-04	Cumple
16:40	2.618E-05	Cumple	2.195E-04	Cumple	2.490E-04	Cumple

16:50	2.495E-05	Cumple	2.216E-04	Cumple	2.499E-04	Cumple
17:00	2.379E-05	Cumple	2.236E-04	Cumple	2.508E-04	Cumple
17:10	2.267E-05	Cumple	2.256E-04	Cumple	2.517E-04	Cumple
17:20	2.142E-05	Cumple	2.275E-04	Cumple	2.525E-04	Cumple
17:30	2.008E-05	Cumple	2.293E-04	Cumple	2.531E-04	Cumple
17:40	1.874E-05	Cumple	2.311E-04	Cumple	2.536E-04	Cumple
17:50	1.744E-05	Cumple	2.329E-04	Cumple	2.542E-04	Cumple
18:00	1.584E-05	Cumple	2.348E-04	Cumple	2.546E-04	Cumple
18:10	1.395E-05	Cumple	2.369E-04	Cumple	2.549E-04	Cumple
18:20	1.205E-05	Cumple	2.389E-04	Cumple	2.551E-04	Cumple
18:30	1.007E-05	Cumple	2.409E-04	Cumple	2.553E-04	Cumple
18:40	8.151E-06	Cumple	2.429E-04	Cumple	2.555E-04	Cumple
18:50	6.200E-06	Cumple	2.449E-04	Cumple	2.557E-04	Cumple
19:00	4.287E-06	Cumple	2.468E-04	Cumple	2.558E-04	Cumple
19:10	2.437E-06	Cumple	2.486E-04	Cumple	2.560E-04	Cumple
19:20	6.378E-07	Cumple	2.504E-04	Cumple	2.561E-04	Cumple
19:30	1.159E-06	Cumple	2.522E-04	Cumple	2.562E-04	Cumple
19:40	2.866E-06	Cumple	2.539E-04	Cumple	2.564E-04	Cumple
19:50	4.541E-06	Cumple	2.556E-04	Cumple	2.565E-04	Cumple
20:00	7.913E-06	Cumple	2.572E-04	Cumple	2.551E-04	Cumple
20:10	1.290E-05	Cumple	2.588E-04	Cumple	2.520E-04	Cumple
20:20	1.778E-05	Cumple	2.604E-04	Cumple	2.490E-04	Cumple
20:30	2.257E-05	Cumple	2.619E-04	Cumple	2.461E-04	Cumple
20:40	2.733E-05	Cumple	2.635E-04	Cumple	2.433E-04	Cumple
20:50	3.211E-05	Cumple	2.651E-04	Cumple	2.405E-04	Cumple
21:00	3.681E-05	Cumple	2.667E-04	Cumple	2.377E-04	Cumple
21:10	3.978E-05	Cumple	2.667E-04	Cumple	2.350E-04	Cumple
21:20	4.103E-05	Cumple	2.650E-04	Cumple	2.323E-04	Cumple
21:30	4.228E-05	Cumple	2.634E-04	Cumple	2.297E-04	Cumple
21:40	4.369E-05	Cumple	2.620E-04	Cumple	2.271E-04	Cumple
21:50	4.533E-05	Cumple	2.608E-04	Cumple	2.245E-04	Cumple
22:00	4.706E-05	Cumple	2.597E-04	Cumple	2.219E-04	Cumple
22:10	4.873E-05	Cumple	2.586E-04	Cumple	2.194E-04	Cumple
22:20	5.038E-05	Cumple	2.576E-04	Cumple	2.169E-04	Cumple
22:30	5.369E-05	Cumple	2.566E-04	Cumple	2.129E-04	Cumple
22:40	5.865E-05	Cumple	2.555E-04	Cumple	2.072E-04	Cumple
22:50	6.351E-05	Cumple	2.545E-04	Cumple	2.017E-04	Cumple
23:00	6.820E-05	Cumple	2.536E-04	Cumple	1.964E-04	Cumple
23:10	7.222E-05	Cumple	2.522E-04	Cumple	1.913E-04	Cumple
23:20	7.572E-05	Cumple	2.504E-04	Cumple	1.862E-04	Cumple
23:30	7.916E-05	Cumple	2.486E-04	Cumple	1.813E-04	Cumple
23:40	8.305E-05	Cumple	2.474E-04	Cumple	1.765E-04	Cumple
23:50	8.637E-05	Cumple	2.467E-04	Cumple	1.727E-04	Cumple

Anexo J. Cálculo del flicker para el nivel de penetración del 15%.

Tiempo	$ V_1 $	$\theta_1$	$ V_2 $	$\theta_2$	$ V_3 $	$\theta_3$	$ V^+ $	$ V^- $	DV	
0:00	125.957	-30.452	126.496	-150.185	126.450	89.786	126.301	0.257	0.203%	Cumple
0:10	125.986	-30.438	126.511	-150.178	126.463	89.792	126.320	0.249	0.197%	Cumple
0:20	126.003	-30.429	126.519	-150.174	126.471	89.796	126.331	0.245	0.194%	Cumple
0:30	126.022	-30.420	126.528	-150.169	126.479	89.800	126.343	0.240	0.190%	Cumple
0:40	126.037	-30.413	126.533	-150.167	126.488	89.804	126.352	0.236	0.187%	Cumple
0:50	126.062	-30.401	126.546	-150.161	126.497	89.809	126.368	0.229	0.182%	Cumple
1:00	126.086	-30.390	126.558	-150.155	126.507	89.814	126.383	0.223	0.177%	Cumple
1:10	126.094	-30.386	126.561	-150.153	126.511	89.816	126.388	0.221	0.175%	Cumple
1:20	126.100	-30.383	126.563	-150.152	126.515	89.818	126.392	0.220	0.174%	Cumple
1:30	126.111	-30.378	126.572	-150.148	126.517	89.819	126.400	0.218	0.172%	Cumple
1:40	126.118	-30.374	126.575	-150.147	126.521	89.820	126.404	0.215	0.170%	Cumple
1:50	126.131	-30.368	126.580	-150.144	126.527	89.824	126.412	0.212	0.168%	Cumple
2:00	126.137	-30.365	126.581	-150.143	126.531	89.825	126.416	0.211	0.167%	Cumple
2:10	126.149	-30.359	126.587	-150.141	126.536	89.828	126.424	0.207	0.164%	Cumple
2:20	126.165	-30.352	126.596	-150.136	126.542	89.831	126.434	0.204	0.161%	Cumple
2:30	126.160	-30.354	126.596	-150.136	126.538	89.829	126.431	0.205	0.162%	Cumple
2:40	126.169	-30.350	126.600	-150.134	126.542	89.831	126.437	0.203	0.160%	Cumple
2:50	126.177	-30.346	126.601	-150.134	126.547	89.833	126.441	0.200	0.158%	Cumple
3:00	126.184	-30.343	126.605	-150.132	126.550	89.835	126.446	0.198	0.157%	Cumple
3:10	126.183	-30.343	126.606	-150.132	126.548	89.834	126.446	0.198	0.157%	Cumple
3:20	126.180	-30.344	126.603	-150.133	126.549	89.834	126.444	0.199	0.158%	Cumple
3:30	126.184	-30.343	126.606	-150.132	126.550	89.834	126.447	0.198	0.157%	Cumple
3:40	126.186	-30.342	126.605	-150.132	126.551	89.835	126.447	0.198	0.156%	Cumple
3:50	126.185	-30.342	126.603	-150.133	126.553	89.836	126.447	0.198	0.156%	Cumple
4:00	126.177	-30.346	126.600	-150.134	126.548	89.834	126.441	0.200	0.158%	Cumple
4:10	126.171	-30.349	126.598	-150.135	126.545	89.832	126.438	0.202	0.160%	Cumple
4:20	126.174	-30.348	126.600	-150.134	126.546	89.833	126.440	0.201	0.159%	Cumple
4:30	126.177	-30.346	126.601	-150.134	126.548	89.834	126.442	0.200	0.158%	Cumple
4:40	126.169	-30.350	126.597	-150.136	126.544	89.832	126.436	0.202	0.160%	Cumple
4:50	126.157	-30.356	126.592	-150.138	126.539	89.830	126.429	0.206	0.163%	Cumple
5:00	126.149	-30.360	126.589	-150.140	126.535	89.827	126.424	0.207	0.164%	Cumple
5:10	126.120	-30.373	126.576	-150.146	126.521	89.821	126.405	0.215	0.170%	Cumple
5:20	126.080	-30.393	126.558	-150.155	126.503	89.812	126.380	0.226	0.178%	Cumple
5:30	126.053	-30.406	126.544	-150.162	126.492	89.807	126.363	0.232	0.184%	Cumple
5:40	126.031	-30.416	126.534	-150.166	126.482	89.802	126.349	0.238	0.189%	Cumple
5:50	125.941	-30.451	126.470	-150.197	126.465	89.802	126.292	0.255	0.202%	Cumple
6:00	125.895	-30.473	126.450	-150.207	126.443	89.791	126.262	0.267	0.212%	Cumple
6:10	125.882	-30.479	126.443	-150.211	126.438	89.789	126.254	0.270	0.214%	Cumple
6:20	125.828	-30.505	126.413	-150.225	126.418	89.779	126.219	0.284	0.225%	Cumple
6:30	125.827	-30.506	126.416	-150.224	126.414	89.777	126.219	0.284	0.225%	Cumple
6:40	125.856	-30.492	126.438	-150.213	126.425	89.782	126.239	0.279	0.221%	Cumple
6:50	125.851	-30.494	126.433	-150.215	126.425	89.782	126.236	0.280	0.222%	Cumple
7:00	125.838	-30.500	126.423	-150.220	126.423	89.782	126.228	0.283	0.224%	Cumple
7:10	125.811	-30.514	126.412	-150.226	126.408	89.774	126.210	0.290	0.229%	Cumple



7:20	125.803	-30.517	126.409	-150.227	126.403	89.772	126.205	0.292	0.231%	Cumple
7:30	125.818	-30.510	126.419	-150.222	126.407	89.774	126.214	0.288	0.228%	Cumple
7:40	125.816	-30.511	126.423	-150.220	126.411	89.776	126.216	0.291	0.230%	Cumple
7:50	125.843	-30.498	126.436	-150.214	126.424	89.782	126.234	0.284	0.225%	Cumple
8:00	125.837	-30.501	126.430	-150.217	126.423	89.781	126.230	0.285	0.226%	Cumple
8:10	125.831	-30.504	126.431	-150.217	126.417	89.778	126.226	0.287	0.227%	Cumple
8:20	125.820	-30.509	126.425	-150.219	126.411	89.776	126.218	0.290	0.229%	Cumple
8:30	125.821	-30.509	126.424	-150.220	126.414	89.777	126.219	0.289	0.229%	Cumple
8:40	125.801	-30.518	126.418	-150.223	126.408	89.774	126.209	0.296	0.234%	Cumple
8:50	125.792	-30.523	126.416	-150.224	126.402	89.771	126.203	0.298	0.236%	Cumple
9:00	125.765	-30.536	126.404	-150.230	126.388	89.765	126.185	0.305	0.242%	Cumple
9:10	125.767	-30.534	126.407	-150.228	126.387	89.764	126.187	0.305	0.242%	Cumple
9:20	125.748	-30.543	126.401	-150.231	126.376	89.759	126.175	0.310	0.245%	Cumple
9:30	125.725	-30.554	126.387	-150.238	126.369	89.755	126.160	0.316	0.250%	Cumple
9:40	125.729	-30.553	126.387	-150.238	126.373	89.757	126.163	0.315	0.249%	Cumple
9:50	125.720	-30.557	126.383	-150.240	126.369	89.756	126.157	0.317	0.251%	Cumple
10:00	125.694	-30.569	126.371	-150.245	126.357	89.750	126.140	0.324	0.257%	Cumple
10:10	125.684	-30.574	126.366	-150.248	126.352	89.747	126.134	0.326	0.259%	Cumple
10:20	125.688	-30.572	126.369	-150.246	126.353	89.748	126.136	0.326	0.258%	Cumple
10:30	125.694	-30.569	126.370	-150.246	126.357	89.750	126.140	0.324	0.257%	Cumple
10:40	125.677	-30.577	126.361	-150.250	126.352	89.747	126.130	0.329	0.260%	Cumple
10:50	125.667	-30.582	126.359	-150.251	126.343	89.743	126.123	0.331	0.262%	Cumple
11:00	125.649	-30.591	126.347	-150.257	126.339	89.741	126.111	0.335	0.266%	Cumple
11:10	125.646	-30.592	126.344	-150.259	126.340	89.741	126.110	0.336	0.266%	Cumple
11:20	125.632	-30.599	126.334	-150.263	126.337	89.740	126.101	0.340	0.270%	Cumple
11:30	125.627	-30.601	126.336	-150.262	126.332	89.737	126.098	0.342	0.271%	Cumple
11:40	125.624	-30.603	126.332	-150.264	126.333	89.738	126.096	0.342	0.272%	Cumple
11:50	125.642	-30.594	126.347	-150.257	126.334	89.739	126.107	0.338	0.268%	Cumple
12:00	125.648	-30.591	126.349	-150.256	126.338	89.740	126.111	0.336	0.267%	Cumple
12:10	125.658	-30.587	126.354	-150.254	126.342	89.742	126.118	0.333	0.264%	Cumple
12:20	125.666	-30.583	126.357	-150.252	126.346	89.744	126.123	0.332	0.263%	Cumple
12:30	125.690	-30.571	126.363	-150.249	126.356	89.749	126.136	0.324	0.257%	Cumple
12:40	125.685	-30.574	126.363	-150.249	126.352	89.747	126.133	0.325	0.258%	Cumple
12:50	125.695	-30.569	126.372	-150.245	126.353	89.748	126.140	0.323	0.256%	Cumple
13:00	125.693	-30.570	126.369	-150.246	126.354	89.748	126.138	0.323	0.256%	Cumple
13:10	125.690	-30.571	126.368	-150.247	126.353	89.748	126.137	0.324	0.257%	Cumple
13:20	125.696	-30.568	126.371	-150.246	126.355	89.749	126.140	0.322	0.255%	Cumple
13:30	125.676	-30.578	126.358	-150.252	126.347	89.745	126.127	0.327	0.259%	Cumple
13:40	125.676	-30.578	126.357	-150.252	126.349	89.746	126.127	0.328	0.260%	Cumple
13:50	125.677	-30.578	126.362	-150.250	126.344	89.743	126.127	0.327	0.259%	Cumple
14:00	125.683	-30.575	126.362	-150.250	126.350	89.746	126.131	0.325	0.258%	Cumple
14:10	125.671	-30.580	126.358	-150.252	126.343	89.743	126.124	0.328	0.260%	Cumple
14:20	125.667	-30.582	126.359	-150.251	126.341	89.742	126.122	0.330	0.262%	Cumple
14:30	125.674	-30.579	126.359	-150.251	126.347	89.745	126.126	0.329	0.260%	Cumple
14:40	125.665	-30.583	126.351	-150.255	126.346	89.744	126.120	0.330	0.262%	Cumple

14:50	125.657	-30.587	126.347	-150.257	126.344	89.743	126.116	0.333	0.264%	Cumple
15:00	125.672	-30.580	126.356	-150.253	126.348	89.745	126.125	0.329	0.260%	Cumple
15:10	125.672	-30.580	126.360	-150.251	126.344	89.744	126.125	0.328	0.260%	Cumple
15:20	125.671	-30.580	126.360	-150.251	126.342	89.742	126.124	0.329	0.260%	Cumple
15:30	125.664	-30.584	126.355	-150.253	126.340	89.741	126.119	0.331	0.262%	Cumple
15:40	125.669	-30.581	126.358	-150.252	126.341	89.742	126.122	0.329	0.261%	Cumple
15:50	125.655	-30.588	126.351	-150.255	126.336	89.740	126.114	0.333	0.264%	Cumple
16:00	125.639	-30.596	126.341	-150.260	126.331	89.737	126.103	0.337	0.267%	Cumple
16:10	125.628	-30.601	126.334	-150.263	126.329	89.736	126.097	0.340	0.270%	Cumple
16:20	125.634	-30.598	126.337	-150.262	126.331	89.737	126.100	0.338	0.268%	Cumple
16:30	125.632	-30.599	126.339	-150.261	126.327	89.735	126.099	0.339	0.269%	Cumple
16:40	125.608	-30.611	126.326	-150.267	126.319	89.731	126.084	0.345	0.274%	Cumple
16:50	125.575	-30.626	126.310	-150.275	126.305	89.725	126.063	0.354	0.280%	Cumple
17:00	125.563	-30.632	126.302	-150.279	126.301	89.723	126.055	0.356	0.283%	Cumple
17:10	125.539	-30.643	126.295	-150.282	126.287	89.716	126.040	0.363	0.288%	Cumple
17:20	125.452	-30.698	126.290	-150.285	126.211	89.666	125.984	0.396	0.314%	Cumple
17:30	125.421	-30.713	126.273	-150.292	126.199	89.661	125.964	0.405	0.321%	Cumple
17:40	125.383	-30.731	126.256	-150.301	126.182	89.652	125.940	0.414	0.329%	Cumple
17:50	125.333	-30.754	126.237	-150.310	126.157	89.640	125.908	0.428	0.340%	Cumple
18:00	125.157	-30.838	126.153	-150.350	126.081	89.603	125.796	0.473	0.376%	Cumple
18:10	125.109	-30.861	126.134	-150.360	126.059	89.593	125.766	0.486	0.386%	Cumple
18:20	125.045	-30.891	126.107	-150.372	126.028	89.578	125.726	0.503	0.400%	Cumple
18:30	125.024	-30.901	126.098	-150.377	126.018	89.573	125.712	0.508	0.404%	Cumple
18:40	125.012	-30.907	126.091	-150.380	126.014	89.571	125.705	0.512	0.407%	Cumple
18:50	125.024	-30.901	126.091	-150.380	126.025	89.577	125.712	0.508	0.404%	Cumple
19:00	125.040	-30.894	126.102	-150.375	126.029	89.578	125.723	0.504	0.401%	Cumple
19:10	125.036	-30.896	126.096	-150.378	126.028	89.578	125.719	0.504	0.401%	Cumple
19:20	125.036	-30.896	126.096	-150.377	126.027	89.577	125.719	0.505	0.402%	Cumple
19:30	125.037	-30.895	126.099	-150.376	126.024	89.576	125.719	0.504	0.401%	Cumple
19:40	125.070	-30.879	126.114	-150.369	126.040	89.584	125.740	0.496	0.394%	Cumple
19:50	125.103	-30.864	126.130	-150.362	126.053	89.590	125.761	0.486	0.387%	Cumple
20:00	125.135	-30.849	126.145	-150.354	126.066	89.596	125.781	0.479	0.381%	Cumple
20:10	125.156	-30.839	126.152	-150.351	126.074	89.600	125.793	0.472	0.375%	Cumple
20:20	125.183	-30.826	126.161	-150.346	126.089	89.607	125.810	0.465	0.370%	Cumple
20:30	125.215	-30.811	126.179	-150.338	126.100	89.613	125.830	0.456	0.363%	Cumple
20:40	125.222	-30.807	126.178	-150.338	126.108	89.616	125.835	0.455	0.361%	Cumple
20:50	125.277	-30.781	126.203	-150.326	126.133	89.629	125.870	0.440	0.350%	Cumple
21:00	125.326	-30.758	126.223	-150.317	126.157	89.640	125.901	0.427	0.339%	Cumple
21:10	125.380	-30.732	126.243	-150.307	126.180	89.651	125.934	0.412	0.327%	Cumple
21:20	125.440	-30.703	126.271	-150.294	126.207	89.664	125.972	0.396	0.314%	Cumple
21:30	125.493	-30.679	126.293	-150.283	126.233	89.677	126.006	0.382	0.303%	Cumple
21:40	125.525	-30.663	126.310	-150.275	126.245	89.683	126.026	0.374	0.297%	Cumple
21:50	125.630	-30.613	126.361	-150.250	126.291	89.705	126.093	0.347	0.275%	Cumple
22:00	125.690	-30.584	126.386	-150.238	126.315	89.716	126.130	0.330	0.262%	Cumple
22:10	125.734	-30.563	126.407	-150.228	126.335	89.726	126.158	0.319	0.253%	Cumple



22:20	125.783	-30.540	126.429	-150.217	126.357	89.737	126.189	0.306	0.243%	Cumple
22:30	125.824	-30.520	126.448	-150.208	126.377	89.746	126.216	0.296	0.235%	Cumple
22:40	125.858	-30.504	126.463	-150.201	126.393	89.754	126.238	0.287	0.227%	Cumple
22:50	125.891	-30.488	126.481	-150.192	126.406	89.760	126.259	0.279	0.221%	Cumple
23:00	125.957	-30.452	126.496	-150.185	126.450	89.786	126.301	0.257	0.203%	Cumple
23:10	125.986	-30.438	126.511	-150.178	126.463	89.792	126.320	0.249	0.197%	Cumple
23:20	126.003	-30.429	126.519	-150.174	126.471	89.796	126.331	0.245	0.194%	Cumple
23:30	126.022	-30.420	126.528	-150.169	126.479	89.800	126.343	0.240	0.190%	Cumple
23:40	126.037	-30.413	126.533	-150.167	126.488	89.804	126.352	0.236	0.187%	Cumple
23:50	126.062	-30.401	126.546	-150.161	126.497	89.809	126.368	0.229	0.182%	Cumple

Anexo K. Cálculo del desequilibrio de voltaje para el Caso Base.

Tiempo	$ V_1 $	$\theta_1$	$ V_2 $	$\theta_2$	$ V_3 $	$\theta_3$	$ V^+ $	$ V^- $	DV	
0:00	125.618	-30.614	126.356	-150.252	126.260	89.694	126.078	0.343	0.272%	Cumple
0:10	125.647	-30.600	126.371	-150.245	126.272	89.700	126.096	0.335	0.266%	Cumple
0:20	125.665	-30.591	126.380	-150.241	126.280	89.704	126.108	0.330	0.262%	Cumple
0:30	125.684	-30.583	126.388	-150.237	126.289	89.708	126.120	0.326	0.258%	Cumple
0:40	125.698	-30.575	126.393	-150.234	126.297	89.712	126.129	0.322	0.255%	Cumple
0:50	125.725	-30.563	126.407	-150.227	126.307	89.717	126.146	0.315	0.250%	Cumple
1:00	125.748	-30.552	126.419	-150.222	126.316	89.721	126.161	0.309	0.245%	Cumple
1:10	125.757	-30.548	126.423	-150.220	126.320	89.724	126.166	0.307	0.243%	Cumple
1:20	125.762	-30.545	126.425	-150.219	126.323	89.725	126.170	0.305	0.242%	Cumple
1:30	125.774	-30.539	126.433	-150.215	126.326	89.726	126.177	0.303	0.240%	Cumple
1:40	125.782	-30.536	126.437	-150.213	126.330	89.728	126.183	0.301	0.239%	Cumple
1:50	125.794	-30.530	126.441	-150.211	126.336	89.731	126.190	0.298	0.236%	Cumple
2:00	125.800	-30.527	126.443	-150.210	126.340	89.733	126.194	0.296	0.235%	Cumple
2:10	125.812	-30.521	126.449	-150.207	126.345	89.736	126.202	0.293	0.232%	Cumple
2:20	125.829	-30.513	126.458	-150.203	126.351	89.739	126.212	0.289	0.229%	Cumple
2:30	125.823	-30.516	126.458	-150.203	126.347	89.736	126.209	0.291	0.230%	Cumple
2:40	125.833	-30.511	126.462	-150.201	126.351	89.739	126.215	0.288	0.228%	Cumple
2:50	125.840	-30.508	126.463	-150.201	126.356	89.741	126.219	0.285	0.226%	Cumple
3:00	125.848	-30.504	126.467	-150.198	126.359	89.742	126.224	0.284	0.225%	Cumple
3:10	125.846	-30.505	126.468	-150.198	126.357	89.741	126.223	0.285	0.225%	Cumple
3:20	125.986	-30.438	126.604	-150.133	126.357	89.742	126.315	0.267	0.211%	Cumple
3:30	125.990	-30.436	126.606	-150.132	126.358	89.742	126.318	0.266	0.211%	Cumple
3:40	125.992	-30.435	126.606	-150.132	126.360	89.743	126.319	0.266	0.210%	Cumple
3:50	125.991	-30.435	126.603	-150.133	126.361	89.744	126.318	0.265	0.210%	Cumple
4:00	125.982	-30.440	126.600	-150.134	126.356	89.741	126.312	0.268	0.212%	Cumple
4:10	126.170	-30.349	126.598	-150.135	126.544	89.832	126.437	0.202	0.160%	Cumple
4:20	126.173	-30.348	126.600	-150.135	126.546	89.833	126.439	0.201	0.159%	Cumple
4:30	126.177	-30.346	126.600	-150.134	126.548	89.834	126.441	0.200	0.158%	Cumple
4:40	126.168	-30.350	126.596	-150.136	126.544	89.832	126.436	0.202	0.160%	Cumple
4:50	126.156	-30.356	126.592	-150.138	126.539	89.830	126.429	0.206	0.163%	Cumple
5:00	126.148	-30.360	126.588	-150.140	126.535	89.827	126.423	0.208	0.164%	Cumple
5:10	126.120	-30.374	126.575	-150.146	126.521	89.821	126.405	0.215	0.170%	Cumple

5:20	126.080	-30.393	126.558	-150.155	126.503	89.812	126.380	0.226	0.178%	Cumple
5:30	126.052	-30.406	126.543	-150.162	126.492	89.807	126.362	0.233	0.184%	Cumple
5:40	126.031	-30.416	126.534	-150.166	126.482	89.802	126.349	0.238	0.189%	Cumple
5:50	125.941	-30.451	126.471	-150.197	126.465	89.802	126.292	0.255	0.202%	Cumple
6:00	125.896	-30.473	126.451	-150.207	126.443	89.791	126.263	0.267	0.211%	Cumple
6:10	125.881	-30.480	126.442	-150.211	126.438	89.789	126.253	0.271	0.214%	Cumple
6:20	125.826	-30.506	126.411	-150.226	126.418	89.779	126.218	0.285	0.226%	Cumple
6:30	125.827	-30.506	126.416	-150.224	126.414	89.777	126.219	0.284	0.225%	Cumple
6:40	125.857	-30.492	126.439	-150.212	126.425	89.782	126.240	0.279	0.221%	Cumple
6:50	125.852	-30.494	126.434	-150.215	126.425	89.782	126.237	0.280	0.222%	Cumple
7:00	125.838	-30.501	126.422	-150.221	126.423	89.782	126.227	0.283	0.224%	Cumple
7:10	125.810	-30.514	126.411	-150.226	126.408	89.774	126.209	0.290	0.230%	Cumple
7:20	125.803	-30.517	126.409	-150.227	126.403	89.772	126.205	0.292	0.231%	Cumple
7:30	125.818	-30.510	126.419	-150.222	126.407	89.774	126.214	0.288	0.228%	Cumple
7:40	125.815	-30.512	126.421	-150.221	126.411	89.776	126.215	0.291	0.231%	Cumple
7:50	125.842	-30.499	126.434	-150.215	126.424	89.782	126.233	0.284	0.225%	Cumple
8:00	125.834	-30.502	126.428	-150.218	126.423	89.781	126.228	0.286	0.227%	Cumple
8:10	125.830	-30.504	126.430	-150.217	126.417	89.779	126.225	0.287	0.228%	Cumple
8:20	125.818	-30.510	126.423	-150.220	126.411	89.776	126.217	0.290	0.230%	Cumple
8:30	125.819	-30.509	126.423	-150.220	126.414	89.777	126.218	0.290	0.230%	Cumple
8:40	125.798	-30.519	126.416	-150.224	126.408	89.774	126.207	0.297	0.235%	Cumple
8:50	125.790	-30.524	126.414	-150.225	126.402	89.771	126.202	0.299	0.237%	Cumple
9:00	125.763	-30.536	126.403	-150.230	126.388	89.765	126.184	0.306	0.242%	Cumple
9:10	125.766	-30.535	126.406	-150.229	126.387	89.764	126.186	0.305	0.242%	Cumple
9:20	125.747	-30.544	126.399	-150.232	126.376	89.759	126.174	0.310	0.246%	Cumple
9:30	125.723	-30.555	126.384	-150.239	126.369	89.755	126.158	0.316	0.251%	Cumple
9:40	125.725	-30.554	126.384	-150.239	126.373	89.757	126.160	0.316	0.250%	Cumple
9:50	125.717	-30.558	126.380	-150.241	126.369	89.756	126.155	0.318	0.252%	Cumple
10:00	125.691	-30.571	126.368	-150.247	126.357	89.750	126.138	0.325	0.257%	Cumple
10:10	125.682	-30.575	126.364	-150.249	126.352	89.747	126.132	0.327	0.259%	Cumple
10:20	125.686	-30.573	126.367	-150.248	126.353	89.748	126.135	0.325	0.258%	Cumple
10:30	125.690	-30.571	126.367	-150.247	126.357	89.750	126.138	0.325	0.258%	Cumple
10:40	125.674	-30.579	126.357	-150.252	126.352	89.747	126.127	0.329	0.261%	Cumple
10:50	125.663	-30.584	126.356	-150.253	126.343	89.743	126.120	0.332	0.263%	Cumple
11:00	125.645	-30.593	126.343	-150.259	126.339	89.741	126.109	0.336	0.267%	Cumple
11:10	125.642	-30.594	126.339	-150.261	126.340	89.741	126.107	0.337	0.267%	Cumple
11:20	125.627	-30.601	126.329	-150.266	126.337	89.740	126.097	0.341	0.270%	Cumple
11:30	125.623	-30.603	126.332	-150.264	126.332	89.737	126.095	0.343	0.272%	Cumple
11:40	125.620	-30.605	126.328	-150.266	126.333	89.738	126.093	0.343	0.272%	Cumple
11:50	125.639	-30.596	126.344	-150.258	126.334	89.739	126.105	0.339	0.269%	Cumple
12:00	125.644	-30.593	126.346	-150.257	126.338	89.740	126.109	0.338	0.268%	Cumple
12:10	125.654	-30.588	126.351	-150.255	126.342	89.742	126.115	0.335	0.265%	Cumple
12:20	125.662	-30.584	126.354	-150.254	126.346	89.744	126.120	0.332	0.263%	Cumple
12:30	125.686	-30.573	126.359	-150.251	126.356	89.749	126.133	0.325	0.257%	Cumple
12:40	125.682	-30.575	126.360	-150.251	126.352	89.747	126.131	0.326	0.258%	Cumple

12:50	125.694	-30.569	126.371	-150.246	126.353	89.748	126.139	0.323	0.256%	Cumple
13:00	125.691	-30.571	126.367	-150.247	126.354	89.748	126.137	0.324	0.257%	Cumple
13:10	125.688	-30.572	126.365	-150.248	126.353	89.748	126.135	0.325	0.257%	Cumple
13:20	125.693	-30.570	126.368	-150.247	126.355	89.749	126.138	0.323	0.256%	Cumple
13:30	125.673	-30.579	126.356	-150.253	126.347	89.745	126.125	0.328	0.260%	Cumple
13:40	125.673	-30.579	126.355	-150.253	126.349	89.746	126.125	0.328	0.260%	Cumple
13:50	125.676	-30.578	126.361	-150.250	126.344	89.743	126.127	0.327	0.259%	Cumple
14:00	125.681	-30.575	126.360	-150.251	126.350	89.746	126.130	0.326	0.258%	Cumple
14:10	125.670	-30.581	126.357	-150.252	126.343	89.743	126.123	0.329	0.261%	Cumple
14:20	125.666	-30.583	126.358	-150.252	126.341	89.742	126.121	0.330	0.262%	Cumple
14:30	125.672	-30.580	126.358	-150.252	126.347	89.745	126.125	0.329	0.261%	Cumple
14:40	125.662	-30.584	126.349	-150.256	126.346	89.744	126.119	0.331	0.263%	Cumple
14:50	125.654	-30.588	126.344	-150.258	126.344	89.743	126.114	0.334	0.265%	Cumple
15:00	125.669	-30.581	126.354	-150.254	126.348	89.745	126.123	0.329	0.261%	Cumple
15:10	125.670	-30.581	126.358	-150.252	126.344	89.744	126.124	0.329	0.261%	Cumple
15:20	125.669	-30.581	126.358	-150.252	126.342	89.742	126.123	0.329	0.261%	Cumple
15:30	125.662	-30.585	126.353	-150.254	126.340	89.741	126.118	0.331	0.262%	Cumple
15:40	125.667	-30.582	126.357	-150.252	126.341	89.742	126.121	0.330	0.261%	Cumple
15:50	125.653	-30.589	126.349	-150.256	126.336	89.740	126.112	0.333	0.264%	Cumple
16:00	125.636	-30.597	126.338	-150.261	126.331	89.737	126.101	0.338	0.268%	Cumple
16:10	125.625	-30.602	126.331	-150.265	126.329	89.736	126.095	0.341	0.270%	Cumple
16:20	125.631	-30.599	126.334	-150.263	126.331	89.737	126.098	0.339	0.269%	Cumple
16:30	125.629	-30.600	126.337	-150.262	126.327	89.735	126.097	0.339	0.269%	Cumple
16:40	125.407	-30.706	126.130	-150.362	126.319	89.731	125.951	0.402	0.319%	Cumple
16:50	125.375	-30.722	126.114	-150.370	126.306	89.725	125.931	0.410	0.326%	Cumple
17:00	125.362	-30.728	126.106	-150.373	126.302	89.723	125.923	0.414	0.329%	Cumple
17:10	125.339	-30.739	126.099	-150.377	126.288	89.716	125.908	0.419	0.333%	Cumple
17:20	125.253	-30.793	126.096	-150.378	126.212	89.666	125.853	0.446	0.354%	Cumple
17:30	125.221	-30.808	126.079	-150.386	126.200	89.661	125.832	0.454	0.361%	Cumple
17:40	125.182	-30.827	126.061	-150.395	126.183	89.653	125.808	0.464	0.369%	Cumple
17:50	125.133	-30.850	126.043	-150.404	126.157	89.640	125.777	0.477	0.379%	Cumple
18:00	124.956	-30.934	125.959	-150.444	126.082	89.604	125.665	0.523	0.416%	Cumple
18:10	124.908	-30.957	125.940	-150.453	126.059	89.593	125.634	0.536	0.427%	Cumple
18:20	124.845	-30.987	125.914	-150.466	126.029	89.578	125.595	0.552	0.440%	Cumple
18:30	124.824	-30.997	125.904	-150.470	126.019	89.573	125.581	0.558	0.444%	Cumple
18:40	124.811	-31.003	125.897	-150.473	126.015	89.571	125.573	0.562	0.447%	Cumple
18:50	124.823	-30.997	125.896	-150.474	126.026	89.577	125.580	0.558	0.445%	Cumple
19:00	124.838	-30.990	125.907	-150.469	126.030	89.579	125.590	0.554	0.441%	Cumple
19:10	125.035	-30.896	126.095	-150.378	126.028	89.578	125.718	0.505	0.402%	Cumple
19:20	125.035	-30.896	126.096	-150.378	126.027	89.577	125.718	0.504	0.401%	Cumple
19:30	125.037	-30.895	126.100	-150.376	126.024	89.576	125.719	0.504	0.401%	Cumple
19:40	125.070	-30.879	126.114	-150.369	126.040	89.584	125.740	0.496	0.394%	Cumple
19:50	125.103	-30.864	126.130	-150.362	126.053	89.590	125.761	0.487	0.387%	Cumple
20:00	125.135	-30.849	126.145	-150.354	126.066	89.596	125.781	0.479	0.381%	Cumple
20:10	125.157	-30.838	126.153	-150.350	126.074	89.600	125.794	0.472	0.375%	Cumple

20:20	125.183	-30.826	126.161	-150.346	126.089	89.607	125.810	0.465	0.370%	Cumple
20:30	125.215	-30.811	126.180	-150.338	126.100	89.613	125.831	0.456	0.363%	Cumple
20:40	125.223	-30.807	126.179	-150.338	126.108	89.616	125.836	0.454	0.361%	Cumple
20:50	125.131	-30.851	126.062	-150.393	126.134	89.629	125.775	0.476	0.379%	Cumple
21:00	125.186	-30.824	126.088	-150.381	126.158	89.640	125.810	0.462	0.367%	Cumple
21:10	125.234	-30.802	126.102	-150.374	126.181	89.651	125.838	0.448	0.356%	Cumple
21:20	125.294	-30.773	126.129	-150.361	126.208	89.664	125.876	0.432	0.344%	Cumple
21:30	125.148	-30.843	126.152	-150.350	126.041	89.584	125.779	0.470	0.373%	Cumple
21:40	125.181	-30.827	126.169	-150.342	126.054	89.590	125.800	0.461	0.367%	Cumple
21:50	125.288	-30.776	126.221	-150.317	126.099	89.612	125.869	0.434	0.345%	Cumple
22:00	125.348	-30.747	126.247	-150.305	126.124	89.624	125.906	0.417	0.331%	Cumple
22:10	125.393	-30.726	126.268	-150.295	126.144	89.634	125.934	0.406	0.322%	Cumple
22:20	125.442	-30.703	126.290	-150.284	126.166	89.644	125.965	0.393	0.312%	Cumple
22:30	125.484	-30.683	126.308	-150.275	126.186	89.654	125.992	0.382	0.303%	Cumple
22:40	125.518	-30.667	126.323	-150.268	126.202	89.662	126.014	0.373	0.296%	Cumple
22:50	125.552	-30.650	126.341	-150.259	126.215	89.668	126.035	0.365	0.290%	Cumple
23:00	125.618	-30.614	126.356	-150.252	126.260	89.694	126.078	0.343	0.272%	Cumple
23:10	125.647	-30.600	126.371	-150.245	126.272	89.700	126.096	0.335	0.266%	Cumple
23:20	125.665	-30.591	126.380	-150.241	126.280	89.704	126.108	0.330	0.262%	Cumple
23:30	125.684	-30.583	126.388	-150.237	126.289	89.708	126.120	0.326	0.258%	Cumple
23:40	125.698	-30.575	126.393	-150.234	126.297	89.712	126.129	0.322	0.255%	Cumple
23:50	125.725	-30.563	126.407	-150.227	126.307	89.717	126.146	0.315	0.250%	Cumple

Anexo L. Cálculo del desequilibrio de voltaje para el nivel de penetración del 5%.

Tiempo	$ V_1 $	$\theta_1$	$ V_2 $	$\theta_2$	$ V_3 $	$\theta_3$	$ V^+ $	$ V^- $	DV	
0:00	125.716	-30.5657	126.495	-150.185	126.215	89.673	126.142	0.337	0.267%	Cumple
0:10	125.37	-30.7313	126.105	-150.373	126.27	89.699	125.914	0.405	0.322%	Cumple
0:20	125.385	-30.7241	126.111	-150.37	126.278	89.703	125.924	0.402	0.319%	Cumple
0:30	125.404	-30.7149	126.12	-150.366	126.287	89.707	125.936	0.397	0.315%	Cumple
0:40	125.306	-30.7619	126.205	-150.325	126.102	89.619	125.870	0.417	0.331%	Cumple
0:50	125.517	-30.6613	126.397	-150.233	126.112	89.623	126.008	0.382	0.303%	Cumple
1:00	125.582	-30.6302	126.449	-150.208	126.121	89.628	126.050	0.373	0.296%	Cumple
1:10	125.622	-30.6112	126.483	-150.191	126.126	89.630	126.076	0.369	0.293%	Cumple
1:20	125.646	-30.5997	126.495	-150.186	126.137	89.635	126.092	0.363	0.288%	Cumple
1:30	125.649	-30.5984	126.503	-150.182	126.131	89.632	126.094	0.365	0.290%	Cumple
1:40	125.675	-30.5861	126.523	-150.172	126.135	89.635	126.110	0.362	0.287%	Cumple
1:50	125.685	-30.5809	126.526	-150.17	126.142	89.638	126.117	0.360	0.285%	Cumple
2:00	125.694	-30.5767	126.531	-150.168	126.145	89.639	126.123	0.358	0.283%	Cumple
2:10	125.905	-30.4768	126.538	-150.165	126.344	89.735	126.262	0.278	0.220%	Cumple
2:20	125.924	-30.4679	126.549	-150.159	126.351	89.739	126.274	0.275	0.217%	Cumple
2:30	125.92	-30.4698	126.55	-150.159	126.347	89.737	126.272	0.276	0.219%	Cumple
2:40	125.929	-30.4654	126.554	-150.157	126.351	89.738	126.278	0.274	0.217%	Cumple
2:50	125.939	-30.4608	126.557	-150.155	126.356	89.741	126.284	0.271	0.215%	Cumple
3:00	125.947	-30.4566	126.563	-150.153	126.359	89.742	126.289	0.269	0.213%	Cumple
3:10	125.946	-30.457	126.564	-150.152	126.357	89.741	126.289	0.270	0.214%	Cumple

3:20	125.945	-30.4576	126.562	-150.153	126.358	89.742	126.288	0.270	0.214%	Cumple
3:30	125.949	-30.4558	126.565	-150.151	126.358	89.742	126.290	0.270	0.214%	Cumple
3:40	125.993	-30.435	126.606	-150.132	126.36	89.743	126.319	0.265	0.210%	Cumple
3:50	125.991	-30.4355	126.603	-150.133	126.361	89.743	126.318	0.265	0.210%	Cumple
4:00	125.983	-30.4394	126.6	-150.134	126.356	89.741	126.313	0.268	0.212%	Cumple
4:10	125.977	-30.4422	126.599	-150.135	126.353	89.739	126.309	0.269	0.213%	Cumple
4:20	125.98	-30.4408	126.6	-150.134	126.354	89.740	126.311	0.269	0.213%	Cumple
4:30	125.984	-30.4389	126.601	-150.134	126.356	89.741	126.313	0.267	0.212%	Cumple
4:40	125.975	-30.4432	126.597	-150.136	126.352	89.739	126.308	0.269	0.213%	Cumple
4:50	125.964	-30.4489	126.592	-150.138	126.348	89.737	126.301	0.273	0.216%	Cumple
5:00	125.955	-30.4528	126.589	-150.14	126.343	89.735	126.295	0.275	0.217%	Cumple
5:10	125.927	-30.4666	126.576	-150.146	126.329	89.728	126.277	0.281	0.223%	Cumple
5:20	125.887	-30.4857	126.559	-150.154	126.311	89.719	126.252	0.292	0.231%	Cumple
5:30	125.859	-30.4992	126.544	-150.162	126.3	89.714	126.234	0.298	0.236%	Cumple
5:40	125.838	-30.5093	126.535	-150.166	126.29	89.709	126.221	0.303	0.240%	Cumple
5:50	125.746	-30.5447	126.471	-150.197	126.272	89.709	126.163	0.314	0.249%	Cumple
6:00	125.701	-30.5661	126.452	-150.206	126.251	89.698	126.134	0.326	0.259%	Cumple
6:10	125.687	-30.5731	126.443	-150.21	126.245	89.696	126.125	0.329	0.261%	Cumple
6:20	125.632	-30.5993	126.412	-150.226	126.226	89.686	126.090	0.341	0.271%	Cumple
6:30	125.632	-30.5994	126.417	-150.223	126.221	89.684	126.090	0.343	0.272%	Cumple
6:40	125.856	-30.4917	126.439	-150.212	126.425	89.782	126.240	0.279	0.221%	Cumple
6:50	125.851	-30.494	126.434	-150.215	126.425	89.782	126.236	0.280	0.222%	Cumple
7:00	125.838	-30.5007	126.422	-150.221	126.423	89.781	126.227	0.283	0.224%	Cumple
7:10	125.81	-30.5138	126.411	-150.226	126.408	89.774	126.209	0.290	0.230%	Cumple
7:20	125.803	-30.5174	126.409	-150.227	126.403	89.772	126.205	0.292	0.231%	Cumple
7:30	125.818	-30.5102	126.419	-150.222	126.407	89.774	126.214	0.288	0.228%	Cumple
7:40	125.815	-30.5115	126.421	-150.221	126.411	89.776	126.215	0.291	0.231%	Cumple
7:50	125.842	-30.4985	126.434	-150.215	126.424	89.782	126.233	0.284	0.225%	Cumple
8:00	125.834	-30.5021	126.428	-150.218	126.423	89.781	126.228	0.286	0.227%	Cumple
8:10	125.83	-30.5044	126.43	-150.217	126.417	89.778	126.225	0.287	0.228%	Cumple
8:20	125.818	-30.51	126.423	-150.22	126.411	89.776	126.217	0.290	0.230%	Cumple
8:30	125.819	-30.5093	126.423	-150.22	126.414	89.777	126.218	0.290	0.230%	Cumple
8:40	125.798	-30.5194	126.416	-150.224	126.408	89.774	126.207	0.297	0.235%	Cumple
8:50	125.79	-30.5235	126.414	-150.225	126.402	89.771	126.202	0.299	0.237%	Cumple
9:00	125.763	-30.5361	126.403	-150.23	126.388	89.765	126.184	0.306	0.242%	Cumple
9:10	125.766	-30.535	126.406	-150.229	126.387	89.764	126.186	0.305	0.242%	Cumple
9:20	125.747	-30.5438	126.399	-150.232	126.376	89.759	126.174	0.310	0.246%	Cumple
9:30	125.723	-30.5554	126.384	-150.239	126.369	89.755	126.158	0.316	0.251%	Cumple
9:40	125.725	-30.5542	126.384	-150.239	126.373	89.757	126.160	0.316	0.250%	Cumple
9:50	125.717	-30.5582	126.38	-150.241	126.369	89.756	126.155	0.318	0.252%	Cumple
10:00	125.691	-30.5707	126.368	-150.247	126.357	89.750	126.138	0.325	0.257%	Cumple
10:10	125.682	-30.5751	126.364	-150.249	126.352	89.747	126.132	0.327	0.259%	Cumple
10:20	125.686	-30.5732	126.367	-150.248	126.353	89.748	126.135	0.325	0.258%	Cumple
10:30	125.69	-30.5709	126.367	-150.247	126.357	89.750	126.138	0.325	0.258%	Cumple
10:40	125.48	-30.6722	126.358	-150.252	126.16	89.655	125.999	0.386	0.306%	Cumple



10:50	125.469	-30.6775	126.356	-150.253	126.152	89.651	125.992	0.389	0.309%	Cumple
11:00	125.451	-30.6862	126.344	-150.259	126.148	89.649	125.980	0.393	0.312%	Cumple
11:10	125.449	-30.6873	126.34	-150.26	126.149	89.649	125.979	0.394	0.312%	Cumple
11:20	125.433	-30.6949	126.33	-150.265	126.145	89.647	125.969	0.397	0.315%	Cumple
11:30	125.43	-30.6964	126.333	-150.264	126.14	89.645	125.967	0.398	0.316%	Cumple
11:40	125.426	-30.6981	126.329	-150.266	126.141	89.645	125.965	0.399	0.317%	Cumple
11:50	125.445	-30.6891	126.345	-150.258	126.143	89.646	125.977	0.396	0.314%	Cumple
12:00	125.451	-30.6862	126.347	-150.257	126.147	89.648	125.981	0.394	0.313%	Cumple
12:10	125.46	-30.6819	126.352	-150.255	126.15	89.650	125.987	0.392	0.311%	Cumple
12:20	125.468	-30.678	126.354	-150.254	126.154	89.652	125.991	0.389	0.309%	Cumple
12:30	125.492	-30.6668	126.36	-150.251	126.164	89.656	126.005	0.382	0.303%	Cumple
12:40	125.488	-30.6687	126.361	-150.25	126.16	89.654	126.002	0.384	0.304%	Cumple
12:50	125.5	-30.6629	126.371	-150.245	126.161	89.655	126.010	0.381	0.303%	Cumple
13:00	125.497	-30.6644	126.367	-150.247	126.162	89.656	126.008	0.382	0.303%	Cumple
13:10	125.494	-30.6659	126.366	-150.248	126.161	89.655	126.006	0.382	0.303%	Cumple
13:20	125.499	-30.6634	126.369	-150.247	126.163	89.656	126.010	0.381	0.302%	Cumple
13:30	125.479	-30.6728	126.357	-150.252	126.155	89.652	125.996	0.386	0.306%	Cumple
13:40	125.479	-30.6729	126.355	-150.253	126.157	89.653	125.996	0.385	0.306%	Cumple
13:50	125.482	-30.6716	126.362	-150.25	126.152	89.651	125.998	0.385	0.306%	Cumple
14:00	125.487	-30.669	126.361	-150.25	126.158	89.653	126.001	0.384	0.305%	Cumple
14:10	125.475	-30.6747	126.358	-150.252	126.15	89.650	125.994	0.387	0.307%	Cumple
14:20	125.471	-30.6765	126.358	-150.252	126.149	89.649	125.992	0.389	0.308%	Cumple
14:30	125.478	-30.6736	126.359	-150.251	126.154	89.652	125.996	0.387	0.307%	Cumple
14:40	125.468	-30.678	126.349	-150.256	126.154	89.652	125.990	0.388	0.308%	Cumple
14:50	125.46	-30.682	126.345	-150.258	126.152	89.651	125.985	0.390	0.310%	Cumple
15:00	125.475	-30.6747	126.354	-150.253	126.156	89.653	125.994	0.387	0.307%	Cumple
15:10	125.169	-30.8207	126.062	-150.393	126.153	89.651	125.794	0.455	0.362%	Cumple
15:20	125.361	-30.728	126.059	-150.394	126.343	89.743	125.920	0.423	0.336%	Cumple
15:30	125.354	-30.7314	126.054	-150.396	126.341	89.742	125.916	0.425	0.337%	Cumple
15:40	125.42	-30.7001	126.117	-150.367	126.342	89.742	125.959	0.402	0.319%	Cumple
15:50	125.539	-30.643	126.239	-150.309	126.337	89.740	126.038	0.364	0.289%	Cumple
16:00	125.553	-30.6367	126.257	-150.3	126.332	89.737	126.047	0.360	0.285%	Cumple
16:10	125.564	-30.6311	126.272	-150.293	126.329	89.736	126.054	0.356	0.283%	Cumple
16:20	125.578	-30.6247	126.283	-150.288	126.331	89.737	126.063	0.353	0.280%	Cumple
16:30	125.576	-30.6254	126.285	-150.287	126.327	89.735	126.062	0.353	0.280%	Cumple
16:40	125.564	-30.6313	126.283	-150.288	126.319	89.731	126.055	0.356	0.283%	Cumple
16:50	125.531	-30.6471	126.267	-150.296	126.305	89.725	126.034	0.365	0.289%	Cumple
17:00	125.52	-30.6525	126.26	-150.299	126.301	89.723	126.026	0.368	0.292%	Cumple
17:10	125.498	-30.663	126.254	-150.302	126.287	89.716	126.012	0.373	0.296%	Cumple
17:20	125.413	-30.7165	126.252	-150.303	126.211	89.666	125.958	0.405	0.321%	Cumple
17:30	125.383	-30.7309	126.236	-150.31	126.2	89.661	125.939	0.413	0.328%	Cumple
17:40	125.345	-30.7488	126.22	-150.318	126.182	89.652	125.915	0.423	0.336%	Cumple
17:50	125.296	-30.7721	126.201	-150.327	126.157	89.640	125.884	0.436	0.346%	Cumple
18:00	125.123	-30.8544	126.121	-150.366	126.081	89.604	125.774	0.481	0.382%	Cumple
18:10	125.076	-30.8767	126.102	-150.375	126.059	89.593	125.745	0.494	0.392%	Cumple

18:20	125.014	-30.9063	126.077	-150.387	126.028	89.578	125.705	0.510	0.406%	Cumple
18:30	124.992	-30.9163	126.067	-150.391	126.018	89.573	125.691	0.516	0.410%	Cumple
18:40	125.012	-30.907	126.091	-150.38	126.014	89.571	125.705	0.512	0.407%	Cumple
18:50	125.024	-30.9016	126.09	-150.38	126.025	89.577	125.712	0.508	0.404%	Cumple
19:00	125.039	-30.8942	126.101	-150.375	126.029	89.578	125.722	0.505	0.402%	Cumple
19:10	125.035	-30.8962	126.095	-150.378	126.028	89.578	125.718	0.505	0.402%	Cumple
19:20	125.035	-30.896	126.096	-150.378	126.027	89.577	125.718	0.504	0.401%	Cumple
19:30	125.038	-30.8949	126.1	-150.376	126.024	89.576	125.720	0.504	0.401%	Cumple
19:40	125.07	-30.8793	126.114	-150.369	126.04	89.584	125.740	0.496	0.394%	Cumple
19:50	124.684	-31.0647	126.131	-150.361	125.642	89.392	125.484	0.626	0.499%	Cumple
20:00	124.717	-31.0494	126.147	-150.353	125.655	89.398	125.505	0.618	0.493%	Cumple
20:10	124.821	-30.9997	126.154	-150.35	125.744	89.441	125.572	0.581	0.463%	Cumple
20:20	125.029	-30.9001	126.162	-150.346	125.938	89.534	125.709	0.511	0.407%	Cumple
20:30	125.102	-30.865	126.18	-150.337	125.989	89.559	125.756	0.491	0.390%	Cumple
20:40	125.141	-30.8464	126.179	-150.338	126.027	89.577	125.781	0.478	0.380%	Cumple
20:50	125.206	-30.8155	126.203	-150.326	126.062	89.594	125.823	0.461	0.366%	Cumple
21:00	125.254	-30.7924	126.223	-150.317	126.087	89.606	125.854	0.448	0.356%	Cumple
21:10	125.325	-30.7586	126.243	-150.307	126.126	89.625	125.897	0.427	0.340%	Cumple
21:20	125.384	-30.7306	126.27	-150.294	126.152	89.638	125.935	0.412	0.327%	Cumple
21:30	125.438	-30.7049	126.292	-150.284	126.18	89.651	125.969	0.398	0.316%	Cumple
21:40	125.472	-30.6888	126.309	-150.275	126.194	89.658	125.991	0.390	0.309%	Cumple
21:50	125.581	-30.6367	126.36	-150.25	126.243	89.682	126.061	0.362	0.287%	Cumple
22:00	125.642	-30.6077	126.386	-150.238	126.268	89.694	126.098	0.345	0.273%	Cumple
22:10	125.686	-30.5864	126.406	-150.228	126.288	89.703	126.126	0.334	0.264%	Cumple
22:20	125.537	-30.6558	126.429	-150.217	126.117	89.621	126.027	0.389	0.309%	Cumple
22:30	125.58	-30.6354	126.448	-150.208	126.138	89.631	126.055	0.378	0.300%	Cumple
22:40	125.615	-30.6187	126.463	-150.201	126.156	89.640	126.077	0.369	0.293%	Cumple
22:50	125.65	-30.6024	126.481	-150.192	126.169	89.646	126.099	0.362	0.287%	Cumple
23:00	125.716	-30.5658	126.495	-150.185	126.215	89.673	126.142	0.337	0.267%	Cumple
23:10	125.37	-30.7313	126.105	-150.373	126.27	89.699	125.914	0.405	0.322%	Cumple
23:20	125.385	-30.7241	126.111	-150.37	126.278	89.703	125.924	0.402	0.319%	Cumple
23:30	125.404	-30.7149	126.12	-150.366	126.287	89.707	125.936	0.397	0.315%	Cumple
23:40	125.306	-30.7619	126.205	-150.325	126.102	89.619	125.870	0.417	0.331%	Cumple
23:50	125.517	-30.6613	126.397	-150.233	126.112	89.623	126.008	0.382	0.303%	Cumple

## Anexo M. Cálculo del desequilibrio de voltaje para el nivel de penetración del 10%.

Tiempo	$ V_1 $	$\theta_1$	$ V_2 $	$\theta_2$	$ V_3 $	$\theta_3$	$ V^+ $	$ V^- $	DV	
0:00	125.288	-30.7707	125.845	-150.497	126.459	89.790	125.863	0.493	0.392%	Cumple
0:10	125.12	-30.8504	125.667	-150.582	126.472	89.796	125.752	0.571	0.454%	Cumple
0:20	125.135	-30.8435	125.673	-150.58	126.479	89.799	125.761	0.568	0.452%	Cumple
0:30	125.155	-30.8339	125.683	-150.575	126.487	89.803	125.774	0.563	0.448%	Cumple
0:40	124.967	-30.9238	125.489	-150.667	126.496	89.808	125.649	0.652	0.519%	Cumple
0:50	124.573	-31.1123	125.504	-150.66	126.102	89.617	125.391	0.646	0.515%	Cumple

1:00	124.594	-31.1024	125.514	-150.655	126.109	89.621	125.404	0.640	0.510%	Cumple
1:10	124.608	-31.096	125.52	-150.653	126.116	89.624	125.413	0.637	0.508%	Cumple
1:20	124.409	-31.1899	125.322	-150.745	126.12	89.626	125.282	0.717	0.572%	Cumple
1:30	124.009	-31.3806	125.339	-150.738	125.715	89.431	125.019	0.750	0.600%	Cumple
1:40	124.007	-31.3818	125.335	-150.74	125.716	89.432	125.017	0.751	0.601%	Cumple
1:50	124.023	-31.3744	125.34	-150.737	125.724	89.436	125.027	0.747	0.598%	Cumple
2:00	124.293	-31.2458	125.34	-150.737	125.986	89.562	125.204	0.716	0.572%	Cumple
2:10	124.349	-31.2188	125.348	-150.733	126.033	89.584	125.241	0.709	0.566%	Cumple
2:20	124.398	-31.1959	125.357	-150.729	126.07	89.603	125.273	0.703	0.561%	Cumple
2:30	124.396	-31.1965	125.355	-150.73	126.072	89.603	125.272	0.704	0.562%	Cumple
2:40	124.405	-31.1922	125.359	-150.728	126.076	89.605	125.278	0.702	0.560%	Cumple
2:50	124.509	-31.1427	125.358	-150.729	126.176	89.654	125.346	0.698	0.557%	Cumple
3:00	124.904	-30.9545	125.562	-150.632	126.353	89.739	125.605	0.609	0.485%	Cumple
3:10	124.948	-30.9335	125.564	-150.631	126.393	89.758	125.633	0.609	0.485%	Cumple
3:20	124.976	-30.9201	125.56	-150.633	126.425	89.773	125.652	0.612	0.487%	Cumple
3:30	124.994	-30.9115	125.564	-150.631	126.437	89.779	125.663	0.610	0.486%	Cumple
3:40	124.996	-30.9102	125.562	-150.632	126.442	89.781	125.665	0.612	0.487%	Cumple
3:50	125.7	-30.5748	126.225	-150.316	126.457	89.789	126.127	0.330	0.261%	Cumple
4:00	125.691	-30.5795	126.221	-150.317	126.451	89.787	126.121	0.332	0.263%	Cumple
4:10	125.39	-30.7246	126.219	-150.318	126.159	89.645	125.922	0.394	0.313%	Cumple
4:20	125.394	-30.7226	126.221	-150.318	126.161	89.646	125.925	0.392	0.311%	Cumple
4:30	125.402	-30.7188	126.221	-150.317	126.168	89.650	125.930	0.391	0.310%	Cumple
4:40	125.395	-30.7222	126.217	-150.319	126.165	89.649	125.925	0.392	0.311%	Cumple
4:50	125.383	-30.728	126.212	-150.322	126.162	89.647	125.918	0.396	0.314%	Cumple
5:00	125.416	-30.712	126.208	-150.323	126.198	89.664	125.940	0.387	0.307%	Cumple
5:10	125.391	-30.724	126.196	-150.329	126.187	89.659	125.924	0.394	0.313%	Cumple
5:20	125.407	-30.7161	126.177	-150.339	126.226	89.678	125.936	0.390	0.310%	Cumple
5:30	125.508	-30.6672	126.161	-150.346	126.342	89.734	126.003	0.373	0.296%	Cumple
5:40	125.516	-30.6632	126.151	-150.351	126.362	89.744	126.009	0.374	0.297%	Cumple
5:50	125.501	-30.6614	126.089	-150.381	126.419	89.779	126.002	0.389	0.308%	Cumple
6:00	125.455	-30.6835	126.068	-150.391	126.397	89.769	125.973	0.400	0.317%	Cumple
6:10	125.458	-30.6819	126.063	-150.393	126.405	89.773	125.975	0.401	0.318%	Cumple
6:20	125.402	-30.7089	126.032	-150.408	126.384	89.762	125.939	0.416	0.330%	Cumple
6:30	125.405	-30.7076	126.036	-150.406	126.383	89.762	125.941	0.415	0.329%	Cumple
6:40	125.432	-30.6944	126.057	-150.396	126.394	89.767	125.960	0.408	0.324%	Cumple
6:50	125.626	-30.6019	126.244	-150.305	126.395	89.768	126.088	0.342	0.271%	Cumple
7:00	125.616	-30.607	126.235	-150.31	126.394	89.768	126.081	0.345	0.273%	Cumple
7:10	125.592	-30.6181	126.225	-150.315	126.382	89.762	126.066	0.350	0.278%	Cumple
7:20	125.787	-30.5251	126.418	-150.222	126.378	89.760	126.194	0.297	0.235%	Cumple
7:30	125.806	-30.5162	126.429	-150.217	126.384	89.763	126.206	0.292	0.231%	Cumple
7:40	125.807	-30.5153	126.434	-150.215	126.39	89.766	126.210	0.293	0.232%	Cumple
7:50	125.83	-30.5046	126.445	-150.21	126.401	89.771	126.225	0.287	0.228%	Cumple
8:00	125.827	-30.5057	126.441	-150.211	126.402	89.771	126.223	0.289	0.229%	Cumple
8:10	125.822	-30.5082	126.442	-150.211	126.397	89.769	126.220	0.290	0.230%	Cumple
8:20	125.845	-30.4972	126.438	-150.213	126.422	89.781	126.235	0.283	0.224%	Cumple



8:30	125.842	-30.4987	126.435	-150.214	126.424	89.782	126.233	0.285	0.226%	Cumple
8:40	125.822	-30.5081	126.43	-150.217	126.417	89.778	126.223	0.291	0.231%	Cumple
8:50	125.812	-30.5128	126.426	-150.219	126.411	89.776	126.216	0.293	0.232%	Cumple
9:00	125.79	-30.5232	126.417	-150.223	126.4	89.771	126.202	0.299	0.237%	Cumple
9:10	125.796	-30.5204	126.422	-150.221	126.401	89.771	126.206	0.298	0.236%	Cumple
9:20	125.779	-30.5285	126.416	-150.224	126.391	89.766	126.195	0.302	0.239%	Cumple
9:30	125.756	-30.5399	126.402	-150.23	126.382	89.762	126.180	0.308	0.244%	Cumple
9:40	125.759	-30.5384	126.403	-150.23	126.386	89.764	126.182	0.307	0.244%	Cumple
9:50	125.75	-30.5427	126.399	-150.232	126.382	89.762	126.177	0.310	0.246%	Cumple
10:00	125.526	-30.6498	126.194	-150.33	126.371	89.756	126.030	0.373	0.296%	Cumple
10:10	125.518	-30.6533	126.19	-150.332	126.369	89.755	126.025	0.375	0.298%	Cumple
10:20	125.525	-30.6498	126.194	-150.33	126.37	89.756	126.029	0.373	0.296%	Cumple
10:30	125.526	-30.6496	126.193	-150.33	126.372	89.757	126.030	0.373	0.296%	Cumple
10:40	125.51	-30.657	126.184	-150.334	126.366	89.754	126.019	0.378	0.300%	Cumple
10:50	125.5	-30.6621	126.182	-150.336	126.359	89.750	126.013	0.379	0.301%	Cumple
11:00	125.482	-30.6704	126.17	-150.341	126.354	89.748	126.001	0.385	0.305%	Cumple
11:10	125.48	-30.6713	126.168	-150.342	126.355	89.748	126.000	0.386	0.306%	Cumple
11:20	125.461	-30.6805	126.156	-150.348	126.349	89.746	125.988	0.391	0.310%	Cumple
11:30	125.46	-30.6811	126.159	-150.346	126.346	89.744	125.988	0.391	0.311%	Cumple
11:40	125.456	-30.6829	126.155	-150.348	126.347	89.745	125.985	0.393	0.312%	Cumple
11:50	125.474	-30.6742	126.17	-150.341	126.35	89.746	125.997	0.387	0.307%	Cumple
12:00	125.478	-30.6726	126.171	-150.341	126.352	89.747	126.000	0.386	0.306%	Cumple
12:10	125.49	-30.6667	126.177	-150.338	126.357	89.749	126.007	0.383	0.304%	Cumple
12:20	125.5	-30.6619	126.18	-150.336	126.362	89.752	126.013	0.381	0.302%	Cumple
12:30	125.524	-30.6506	126.187	-150.333	126.371	89.756	126.027	0.373	0.296%	Cumple
12:40	125.519	-30.6529	126.186	-150.333	126.368	89.755	126.024	0.375	0.297%	Cumple
12:50	125.526	-30.6496	126.193	-150.33	126.369	89.755	126.029	0.372	0.296%	Cumple
13:00	125.525	-30.65	126.19	-150.331	126.37	89.756	126.028	0.373	0.296%	Cumple
13:10	125.52	-30.6524	126.189	-150.332	126.367	89.754	126.025	0.374	0.297%	Cumple
13:20	125.522	-30.6516	126.19	-150.332	126.367	89.755	126.026	0.373	0.296%	Cumple
13:30	125.501	-30.6615	126.177	-150.338	126.359	89.750	126.012	0.378	0.300%	Cumple
13:40	125.498	-30.6631	126.174	-150.339	126.359	89.750	126.010	0.380	0.301%	Cumple
13:50	125.705	-30.5642	126.376	-150.243	126.358	89.750	126.146	0.320	0.254%	Cumple
14:00	125.711	-30.5613	126.376	-150.243	126.362	89.752	126.149	0.318	0.252%	Cumple
14:10	125.698	-30.5676	126.372	-150.245	126.355	89.749	126.141	0.322	0.255%	Cumple
14:20	125.695	-30.569	126.373	-150.245	126.354	89.748	126.140	0.323	0.256%	Cumple
14:30	125.7	-30.5667	126.373	-150.245	126.359	89.750	126.144	0.322	0.255%	Cumple
14:40	125.692	-30.5705	126.365	-150.248	126.358	89.750	126.138	0.324	0.257%	Cumple
14:50	125.681	-30.5754	126.359	-150.251	126.355	89.748	126.131	0.327	0.259%	Cumple
15:00	125.697	-30.5679	126.37	-150.246	126.359	89.751	126.142	0.323	0.256%	Cumple
15:10	125.699	-30.5671	126.374	-150.244	126.356	89.749	126.143	0.322	0.255%	Cumple
15:20	125.697	-30.5681	126.373	-150.244	126.353	89.748	126.141	0.323	0.256%	Cumple
15:30	125.69	-30.5711	126.369	-150.246	126.352	89.747	126.137	0.324	0.257%	Cumple
15:40	125.695	-30.5687	126.372	-150.245	126.354	89.748	126.140	0.323	0.256%	Cumple
15:50	125.682	-30.5753	126.364	-150.249	126.348	89.745	126.131	0.326	0.258%	Cumple

16:00	125.664	-30.5839	126.354	-150.253	126.342	89.742	126.120	0.331	0.263%	Cumple
16:10	125.65	-30.5906	126.346	-150.257	126.337	89.740	126.111	0.335	0.265%	Cumple
16:20	125.658	-30.5865	126.35	-150.256	126.341	89.742	126.116	0.332	0.263%	Cumple
16:30	125.655	-30.5879	126.351	-150.255	126.338	89.740	126.114	0.333	0.264%	Cumple
16:40	125.629	-30.6002	126.338	-150.262	126.328	89.735	126.098	0.340	0.269%	Cumple
16:50	125.596	-30.6163	126.321	-150.27	126.314	89.729	126.076	0.348	0.276%	Cumple
17:00	125.584	-30.6221	126.313	-150.273	126.31	89.727	126.068	0.352	0.279%	Cumple
17:10	125.56	-30.6331	126.306	-150.277	126.296	89.720	126.053	0.358	0.284%	Cumple
17:20	125.479	-30.6853	126.303	-150.278	126.223	89.672	126.001	0.390	0.309%	Cumple
17:30	125.443	-30.7023	126.285	-150.287	126.209	89.665	125.978	0.399	0.317%	Cumple
17:40	125.401	-30.7224	126.266	-150.296	126.19	89.656	125.952	0.410	0.326%	Cumple
17:50	125.349	-30.7473	126.245	-150.306	126.163	89.643	125.918	0.424	0.337%	Cumple
18:00	125.165	-30.8344	126.158	-150.348	126.085	89.605	125.802	0.472	0.375%	Cumple
18:10	125.114	-30.8587	126.136	-150.358	126.061	89.594	125.769	0.485	0.386%	Cumple
18:20	125.048	-30.89	126.108	-150.372	126.029	89.579	125.727	0.502	0.399%	Cumple
18:30	125.027	-30.9001	126.099	-150.376	126.019	89.574	125.714	0.508	0.404%	Cumple
18:40	125.013	-30.9067	126.091	-150.38	126.015	89.572	125.705	0.512	0.407%	Cumple
18:50	125.023	-30.9018	126.091	-150.38	126.024	89.576	125.712	0.509	0.405%	Cumple
19:00	125.035	-30.8964	126.1	-150.376	126.026	89.577	125.719	0.506	0.402%	Cumple
19:10	125.032	-30.8977	126.095	-150.378	126.025	89.576	125.716	0.506	0.402%	Cumple
19:20	125.033	-30.8973	126.095	-150.378	126.025	89.576	125.717	0.505	0.402%	Cumple
19:30	125.041	-30.8935	126.101	-150.375	126.026	89.577	125.722	0.503	0.400%	Cumple
19:40	125.074	-30.8776	126.115	-150.368	126.042	89.585	125.743	0.495	0.394%	Cumple
19:50	125.109	-30.8611	126.133	-150.36	126.056	89.591	125.765	0.485	0.386%	Cumple
20:00	124.44	-31.1631	126.153	-150.351	125.405	89.276	125.331	0.725	0.578%	Cumple
20:10	124.46	-31.1537	126.16	-150.347	125.412	89.280	125.342	0.720	0.574%	Cumple
20:20	124.488	-31.1406	126.169	-150.343	125.428	89.287	125.360	0.712	0.568%	Cumple
20:30	124.523	-31.1243	126.189	-150.334	125.44	89.293	125.382	0.705	0.562%	Cumple
20:40	124.532	-31.1202	126.188	-150.334	125.448	89.297	125.387	0.701	0.559%	Cumple
20:50	124.587	-31.0946	126.213	-150.322	125.473	89.309	125.422	0.688	0.549%	Cumple
21:00	124.636	-31.0717	126.233	-150.312	125.497	89.321	125.453	0.677	0.539%	Cumple
21:10	124.017	-31.358	125.597	-150.618	125.523	89.330	125.044	0.739	0.591%	Cumple
21:20	124.081	-31.3281	125.627	-150.604	125.551	89.344	125.084	0.723	0.578%	Cumple
21:30	124.157	-31.2927	125.677	-150.58	125.574	89.355	125.134	0.705	0.564%	Cumple
21:40	124.162	-31.2901	125.665	-150.585	125.587	89.361	125.136	0.703	0.562%	Cumple
21:50	124.269	-31.2404	125.717	-150.561	125.634	89.384	125.205	0.676	0.540%	Cumple
22:00	124.329	-31.2126	125.743	-150.548	125.658	89.395	125.242	0.660	0.527%	Cumple
22:10	124.378	-31.1898	125.766	-150.537	125.679	89.406	125.273	0.647	0.517%	Cumple
22:20	124.423	-31.1685	125.787	-150.527	125.7	89.416	125.302	0.636	0.508%	Cumple
22:30	125.157	-30.8375	125.798	-150.519	126.388	89.751	125.780	0.520	0.414%	Cumple
22:40	125.19	-30.822	125.814	-150.512	126.403	89.758	125.801	0.513	0.408%	Cumple
22:50	125.223	-30.8066	125.83	-150.504	126.416	89.764	125.822	0.505	0.401%	Cumple
23:00	125.288	-30.7707	125.845	-150.497	126.459	89.790	125.863	0.493	0.392%	Cumple
23:10	125.12	-30.8504	125.667	-150.582	126.472	89.796	125.752	0.571	0.454%	Cumple
23:20	125.135	-30.8435	125.673	-150.58	126.479	89.799	125.761	0.568	0.452%	Cumple

23:30	125.155	-30.8339	125.683	-150.575	126.487	89.803	125.774	0.563	0.448%	Cumple
23:40	124.967	-30.9238	125.489	-150.667	126.496	89.808	125.649	0.652	0.519%	Cumple
23:50	124.573	-31.1123	125.504	-150.66	126.102	89.617	125.391	0.646	0.515%	Cumple

Anexo N. Cálculo del desequilibrio de voltaje para el nivel de penetración del 15%.