



**INCIDENCIA DE LOS ARMÓNICOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN  
ELÉCTRICA CAUSADA POR LA INCLUSIÓN DE VEHÍCULOS  
ELÉCTRICOS**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de**  
**INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:**  
**INCIDENCIA DE LOS ARMÓNICOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN**  
**ELÉCTRICA CAUSADA POR LA INCLUSIÓN DE VEHÍCULOS**  
**ELÉCTRICOS**

**AUTOR:**  
**DIEGO RUBÉN HERNÁNDEZ SÁNCHEZ**

**TUTOR:**  
**SILVANA FABIOLA VARELA CHAMORRO**

**Quito, julio 2018**

Diego Rubén Hernández Sánchez

**INCIDENCIA DE LOS ARMÓNICOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA CAUSADA POR LA INCLUSIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

Universidad Politécnica Salesiana

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña de autores e información de contacto:



**Diego Rubén Hernández Sánchez** (Y'1992-M'03).

Realizó sus estudios secundarios en la Unidad Educativa “Pablo Muñoz Vega” en la especialidad de Físico-Matemático. Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en Análisis de Armónicos en Sistemas de Distribución.  
[dhernandezs@est.ups.edu.ec](mailto:dhernandezs@est.ups.edu.ec)

*Dirigido por:*



**Silvana Fabiola Varela Chamorro** (Y'1975-M'02).

Se graduó en Ingeniería Eléctrica en la Escuela Politécnica Nacional en el año 2001 y de Máster en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Morelia. Actualmente se encuentra trabajando como docente en la Universidad Politécnica Salesiana. Áreas de interés: Transitorios Eléctricos, Sistemas de Distribución.  
[svarela@ups.edu.ec](mailto:svarela@ups.edu.ec)

**Todos los derechos reservados:**

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS  
©2018 Universidad Politécnica Salesiana  
QUITO-ECUADOR

### **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A**

Yo, Silvana Fabiola Varela Chamorro declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Incidencia de los armónicos en la Red de Distribución Eléctrica causada por la inclusión de vehículos eléctricos* realizado por Diego Rubén Hernández Sánchez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, julio 2018



.....  
Silvana Fabiola Varela Chamorro  
Cédula de Identidad: 1713565818

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Diego Rubén Hernández Sánchez , con documento de identificación N° 1003918362, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: “Incidencia de los armónicos en la Red de Distribución Eléctrica causada por la inclusión de vehículos eléctricos”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



Nombre: Diego Rubén Hernández Sánchez

Cédula: 1003918362

Fecha: julio 2018

## *ÍNDICE GENERAL*

Resumen.....	1
Abstract.....	1
1. Introducción .....	3
2. Marco Teórico.....	4
2.1 Índices de Evaluación Armónica .....	4
2.2 Límites de Armónicos.....	5
2.3 Calidad Servicio Eléctrico en Ecuador .....	6
2.4 Análisis Estadístico .....	6
3. Vehículos Eléctricos.....	7
4. Transformada Hilbert-Huang.....	11
4.1 Propiedades de la Transformada de Hilbert-Huang.....	13
5. Caso de Estudio.....	15
6. Algoritmo Matemático .....	16
7. Análisis de Resultados .....	18
8. Conclusiones .....	23
9. Referencias.....	25
9.1 Estado del Arte.....	28

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura1. Estimación en la reducción de emisiones de GEI hasta 2100.....	8
Figura2. Desarrollo de EV's entre 2010 y 2016.....	8
Figura3. Proceso de toma de datos del vehículo eléctrico.....	11
Figura4. Analizador de red Fluke 435.....	15
Figura5. Modo de conexión de analizador de red.....	15
Figura6. Renault Twizy.....	16
Figura7. Porcentaje de Distorsión armónica total en voltaje Línea 1.....	18
Figura8. Porcentaje de Distorsión armónica total en voltaje Línea 2.....	18
Figura9. Porcentaje de Distorsión armónica total en corriente Línea 1.....	18
Figura10. Porcentaje de Distorsión armónica total en corriente Línea 2.....	19
Figura11. Densidad de Probabilidad en voltaje Línea 1.....	19
Figura12. Densidad de Probabilidad en voltaje Línea 2.....	19
Figura13. Densidad de Probabilidad en corriente Línea 1.....	19
Figura14. Densidad de Probabilidad en corriente Línea 2.....	20
Figura15. Señal fundamental de voltaje línea 1 con suma de armónicos del 3 al 9no....	20
Figura16. Señal fundamental de voltaje línea 2 con suma de armónicos del 3 al 9no....	20
Figura17. Señal fundamental de corriente línea 1 con suma de armónicos del 3 al 9no.....	20
Figura18. Señal fundamental de corriente línea 2 con suma de armónicos del 3 al 9no.....	21
Figura19. Análisis espectral de funciones de voltaje y corriente del primero al noveno armónico.....	21
Figura20. Análisis espectral de funciones de voltaje y corriente del tercero a noveno armónico.....	21
Figura21. Funciones de modo intrínseco correspondientes a voltaje de línea 1.....	21
Figura22. Transformada de Hilbert de la variable de voltaje de la línea1.....	22
Figura23. Funciones de modo intrínseco correspondientes a voltaje de línea 2.....	22
Figura24. Transformada de Hilbert de la variable de voltaje de la línea 2.....	22
Figura25. Funciones de modo intrínseco correspondientes a corriente de línea 1.....	22
Figura26. Transformada de Hilbert de la variable de corriente de la línea1.....	22
Figura27. Funciones de modo intrínseco correspondientes a corriente de línea 2.....	22
Figura28. Transformada de Hilbert de la variable de corriente de la línea 2.....	23
Figura29. Comparación del espectro marginal de la Transformada Hilbert Huang y Fourier.....	23

## ***ÍNDICE DE TABLAS***

Tabla 1. Características de los fenómenos de distorsión de onda.....	3
Tabla 2. Límites de voltaje armónico determinados por la IEEE Std 519-1992.....	5
Tabla 3. Límites de corriente armónica determinados por la IEEE Std 519-1992.....	5
Tabla 4. Tolerancia $V_i$ o THD, respecto al voltaje nominal del punto de medición según el orden de la armónica.....	6
Tabla 5. Variaciones de voltaje admitidas en baja tensión.....	6
Tabla 6. Principales características de las baterías existentes en el mercado.....	10
Tabla 7. Principales tipos de EV's con potencia de batería y corriente de carga.....	10
Tabla 8. Características del Renault Twizy.....	16

# INCIDENCIA DE LOS ARMÓNICOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA CAUSADA POR LA INCLUSIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

## Resumen

Hoy en día se ha ido dando de manera paulatina la inclusión de vehículos eléctricos en el mercado automovilístico por razones como la amigabilidad con el medio ambiente, un motor más eficiente, entre otras; y en relación a que el número de autos va en aumento es necesario conocer el efecto que estos producen en las redes eléctricas, ya que al ser cargas no lineales estos equipos emiten una importante cantidad de distorsión armónica, es por esto que en este documento se presenta un análisis acerca de la afectación o incidencia de los armónicos en la red de distribución eléctrica a consecuencia de la inserción de vehículos eléctricos, para efectos del estudio, el análisis se lo llevó a cabo mediante la herramienta matemática denominada Transformada de Hilbert-Huang. Lo primero que se hizo fue una reconstrucción de la señal eléctrica con los datos de voltaje y corriente obtenidos de la toma de carga del vehículo eléctrico que en este caso fue un Renault Twizy, luego se realizó un análisis estadístico para determinar la densidad de probabilidad y probabilidad de ocurrencia de los eventos de distorsión armónica, también se usó el Método de Descomposición de Modo Empírico (EMD), el cual consiste en descomponer cualquier señal temporal en una serie de funciones que son netamente oscilatorias llamadas Funciones de Modo Intrínsecas (IMF) luego con esto se obtiene el espectro de frecuencia instantáneo de la serie inicial aplicando la transformada de Hilbert pudiendo con esto realizar el análisis en el dominio tiempo-frecuencia de los

## Abstract

Nowadays, the inclusion of electric vehicles in the automotive market has been gradually introduced for reasons such as environmental friendliness, a more efficient engine, among others; and regarding to the increase in the number of automobiles, it is necessary to know the effect they produce on electricity networks, since being nonlinear loads this equipment emits a significant amount of harmonics distortion, which is why this document presents an analysis of the effect of the harmonics in the electrical distribution network as a consequence of the insertion of electric vehicles, for purposes of the study, the analysis was carried out by the mathematical tool called Hilbert-Huang Transform. First, a reconstruction of the electrical signal with the voltage and current data obtained from the electrical vehicle charge which in this case was a Renault Twizy was completed, later a statistical analysis was done to determine the probable density and the probability of occurrence of the events of harmonic distortion, the Empirical Mode Decomposition Method (EMD) was also used, and consists of decomposing any temporal signal into a series of functions that are clearly oscillating called Intrinsic Mode Functions (IMF). Then with this the instantaneous frequency spectrum of the initial series is obtained by applying the Hilbert transform, thus being able to perform the analysis in the time-frequency domain of the harmonics produced by the electric vehicle, it is important to emphasize that the Fourier Transform served as support for this

armónicos producidos por el vehículo eléctrico, es importante resaltar que la Transformada de Fourier sirvió de apoyo en este análisis y para comparar las bondades que tiene una respecto a la otra.

**Palabras Clave:** Vehículo eléctrico, Transformada Hilbert, Análisis armónico.

analysis and to compare the benefits that one relationship has to the other.

**Keywords:** Electric vehicle, Harmonic analysis, Hilbert Transform.

## 1. Introducción

En la actualidad el uso masivo de cargas no lineales en áreas residenciales ha llevado a que se haya puesto un especial énfasis entre los investigadores relacionados a la materia, sobre el problema de la distorsión armónica en los sistemas de distribución [1], [2]. Ahora mismo en un típico hogar pueden hallarse una gran cantidad de cargas no lineales como laptops, equipos de calefacción, lámparas fluorescentes y de descargar entre otros [3], las cuales introducen un importante porcentaje armónico en las redes eléctricas de distribución [4], mucho de estos equipos disponen de convertidores de corriente alterna a continua, dichos convertidores son los que principalmente ocasionan las distorsiones eléctricas en la red, además de los recursos distribuidos, entre los cuales están generadores, sistemas de almacenamiento [5], y otros dispositivos como cargadores de baterías, variadores de frecuencia, fuentes de alimentación conmutadas [6].

Estas cargas no lineales cuando están conectadas a un punto de acoplamiento común (PCC) [7], dan lugar a corrientes armónicas las cuales se propagan fácilmente por las redes de transmisión perturbando drásticamente los índices de calidad de suministro de energía eléctrica [3], [7], [8], esto es muy peligroso porque pueden producirse fallas inesperadas como disparos de protecciones, actuación de los fusibles, sobrecalentamiento de conductores, interferencias con sistemas de control, excesivas pérdidas en máquinas de inducción y sincrónicas, entre otras [5], [7], Esto puede acarrear problemas de índole económico ya que provoca una elevación en los costos de operación de los sistemas eléctricos [3], [9].

Los cargadores de batería de EV's son cargas no lineales que introducen armónicos en la red de distribución eléctrica, por eso es importante la cuantificación de esta distorsión armónica y analizar su impacto [10]. En un sistema

ideal, el voltaje y corriente suministrados a la carga son ondas perfectamente senoidales, sin embargo en la vida cotidiana esto no resulta así, debido a los armónicos que son voltajes o corrientes sinusoidales, que poseen determinadas frecuencias, las cuales son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, que en el caso de nuestro país es 60[Hz], y que al combinarse con la componente fundamental provocan la distorsión en el sistema, las corrientes armónicas siguen trayectorias diferentes, pues se tiene que las impedancias en los sistemas varían en relación a la frecuencia, es así que estas corrientes circularan por el camino que les presente menor resistencia [11]. Un análisis preciso de los armónicos es el primer paso para poder gestionarlos de manera adecuada.

El estudio de armónicos se centra en 2 métodos: el método no paramétrico, que a su vez se divide en Análisis del dominio del tiempo y análisis en el dominio tiempo-frecuencia y el método paramétrico que se basa en el modelo sinusoidal y estocástico [12].

En la Tabla 1 se puede apreciar las principales características de los fenómenos de distorsión de onda con su respectivo contenido en frecuencia, duración y amplitud estimada.

Tabla 1: Características de los fenómenos de distorsión de onda. [13]

DISTORSIÓN DE ONDA	CONTENIDO EN FRECUENCIA	DURACIÓN ESTIMADA	AMPLITUD EN PU.
Componente continua	-	Fija	0-0.1%
Armónicos	0-9 kHz	Fija	0-20%
Interarmónicos	0-9 kHz	Fija	0-2%
Notching	-	Fija	-
Ruido	Espectro completo	Fija	0-1%

La IEEEStd 519-1992 es un documento de apoyo que se introdujo en 1981 [14], el cual sirve para regular las distorsiones armónicas y poder aplicar de manera adecuada los

límites de los mismos en los sistemas de potencia [15]. A pesar de que ya lleva muchos años en vigencia aún existe cierta confusión en la manera de entender y aplicar ciertos aspectos estándar de estas prácticas recomendadas. Una diferenciación que se debe tener muy en cuenta es que si los armónicos son de tensión o de corriente y si están en valores reales o a su vez en porcentajes. Los aspectos más importantes para tomar en consideración en el tema de calidad energética son los valores de voltaje y corriente, entonces para poder hablar de una energía de buena calidad estos valores deben estar dentro de los límites establecidos tanto en las normas nacionales como internacionales [16].

Este artículo se compone de la siguiente manera, en la sección II se expone la teoría en cuanto al análisis armónico, sus índices de evaluación, límites armónicos, el contexto de la calidad de energía en nuestro país y además una breve explicación sobre el análisis estadístico considerado para este estudio, en la sección III todo lo referente a vehículos eléctricos, características, baterías, modo de carga etc., en la sección IV se trata lo concerniente a la Transformada de Hilbert-Huang, en la sección V se habla del caso de estudio tomado en consideración, en la sección VI se detalla el algoritmo matemático empleado, en la sección VII se hace el análisis de resultados obtenidos y en la sección VIII finalmente se presenta las conclusiones sobre este trabajo.

## 2. Marco Teórico

Existen algunos índices o parámetros, los cuales ayudan a cuantificar y verificar el nivel de distorsión armónica que inyecta un determinado equipo, a continuación, se puntualizan los índices de evaluación armónica más utilizados.

### 2.1 Índices de Evaluación Armónica

- **Índice de Distorsión Armónica Total (THD):** Es aplicable tanto para voltaje como para corrientes. Viene definido por la división entre el valor

total eficaz de las componentes armónicas y el valor eficaz perteneciente a la componente fundamental, viene normalmente expresado en términos de porcentaje. El THD puede tener valores a partir de unas pocas unidades porcentuales hasta prácticamente superar el 100% como sucede en las fuentes de potencia conmutadas.

$$V_{k \text{ ind.}} = \left( \frac{V_k}{V_i} \right) * 100 \quad (1)$$

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} V_k^2}}{V_i} * 100\% \quad (2)$$

de igual forma se indica la distorsión armónica en corriente.

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_i} * 100\% \quad (3)$$

Donde:

$V_{k \text{ ind.}}$ : factor de distorsión armónica individual de voltaje

$V_i$ : valor eficaz de onda fundamental de voltaje

$V_k$ : valor eficaz del armónico k

k: número del armónico

$I_i$ : valor eficaz de la fundamental de corriente

$I_k$ : valor eficaz de armónica k

- **Índice de Distorsión de Demanda Total (TDD):** Representa la desviación armónica de corriente calculado respecto de la carga total (demanda) nivel del sistema eléctrico. TDD nos da una mejor visión sobre cuánto impacto de distorsión armónica en nuestro sistema.

Adicional a esto es importante mencionar que en [17], se propone un nuevo índice para el análisis de armónicos, el cual es llamado Índice de Armónicos Fasoriales (IPH), para casos de fuentes multi-

armónicas, este índice es mucho más completo que el THD porque incorpora información del ángulo de fase y las magnitudes de la fuente armónica.

## 2.2 Límites de Armónicos

Según la IEEE 519, los límites de voltaje dependen de la tensión nominal. En un sistema típico de distribución secundaria de MT, la Distorsión Armónica Total (THD) es del 5%, con una contribución máxima del 3% para cada componente armónico. Los mismos límites para una red de BT se establecen respectivamente en 8% y 5% [5], los actuales niveles armónicos varían en relación a la corriente de cortocircuito que se tenga en el sistema sobre el cual se está inyectando. Es decir, cuanto más pueda el sistema manejar corrientes armónicas, entonces más se le permitirá inyectar al usuario.

En las Tablas 2 y 3 se indica los límites de voltaje y corriente armónicas estipuladas según la IEEE Std 519-1992.

Tabla 2: Límites de voltaje armónico determinados por la IEEE Std 519-2014[15]

VOLTAJE DE BUS EN PCC	DISTORSIÓN DE VOLTAJE INDIVIDUAL(%)	DISTORSIÓN TOTAL DE VOLTAJE THD (%)
$V \leq 1\text{kV}$	5.0	8.0
$1.001\text{kV} \leq V \leq 69\text{ kV}$	3.0	5.0
$69.001\text{kV} \leq V \leq 161\text{kV}$	1.5	2.5
$V \geq 161\text{kV}$	1.0	1.5

Tabla 3: Límites de corriente armónica determinados por la IEEE Std 519-2014[15]

Isc/IL	<11	$11 \leq H < 17$	$17 \leq H < 23$	$23 \leq H < 25$	$35 \leq H$
<20	4.0	2	1.5	0.6	0.3
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0
>1000	15.0	7.5	6.0	2.5	1.4

Los límites de corriente armónica dictaminan la cantidad máxima de dicha corriente, la cual el cliente puede inyectar en la red. La IEEE 519 también establece la responsabilidad de los clientes de no degradar la calidad del voltaje que sirve a

otros usuarios, y también el compromiso de las empresas encargadas de proporcionar una óptima calidad de energía. El fin de estas recomendaciones es evitar que un usuario cause problemas de armónicos a sí mismo y por ende a otros clientes. Es muy importante que se tenga se cuenta la relación existente entre la corriente de cortocircuito y corriente de demanda de carga máximo en el punto de acoplamiento [5], ya que esto determina qué corriente de armónicos se aplica [15].

Actualmente más del 50% de la energía disponible circula por equipos con cargas no lineales, los antiguos sistemas electro-mecánicos eran indiferentes a interrupciones en el suministro de energía cuya duración venía dada en el orden de segundos, cosa que no ocurre en la actualidad en donde los sistemas electro-electrónicos son altamente sensibles a interrupciones de suministro desde el orden de milisegundos. Interrogantes sobre cómo mejorar la calidad, seguridad, disponibilidad, confiabilidad y viabilidad económica [14], son los que motivan a que cada vez más se genere mayor investigación referente al tema [4], [6].

En sistemas que operan con frecuencia de 60[Hz] y cargas monofásicas, las armónicas más frecuentes son la tercera (180Hz), quinta (300Hz), y séptima (420Hz) [3], [5]. En las redes de distribución, la potencia armónica de tercer orden representa del 70% al 96% de la potencia armónica total [18].

Los actuales sistemas de distribución eléctrica demandan refuerzos para poder enfrentar los constantes desafíos en el camino hacia el cumplimiento de la "red inteligente". Una de las cuestiones más importantes es proporcionar niveles adecuados de calidad [5].

Para poder determinar el impacto de las distorsiones armónicas en la red eléctrica, los estudios de flujo armónico de carga han demostrado su capacidad para cuantificar la distorsión de voltaje y la forma de onda de corriente en cualquier bus del sistema eléctrico, determinando la incidencia de

condiciones peligrosas y constatando el cumplimiento de los límites armónicos. Al investigar los efectos de la contaminación armónica en baja tensión es necesario considerar los efectos de desequilibrio de corriente entre fases, asimetrías de tensión, y corrientes neutrales y de tierra [5].

### 2.3 Calidad Servicio Eléctrico en Ecuador

La normativa que rige en nuestro país en cuanto al tema de distorsiones armónicas es la Regulación del CONELEC N°004/01, esta tiene como propósito principal instituir los niveles de calidad del servicio eléctrico de distribución y procedimientos que se ejecutan con el fin de evaluar dicha calidad del servicio por medio de las Empresas Distribuidoras.

La calidad del servicio eléctrico se tomará en cuenta de acuerdo a estos aspectos generales: Calidad de Energía, Calidad del Servicio Técnico y Calidad del Servicio Comercial[19]. De los aspectos antes mencionados se tomará especial atención en la Calidad de la energía ya que es el tema concerniente a esta investigación.

Nivel de Tensión  
Índice de Calidad

$$\Delta V_k(\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} * 100 \quad (4)$$

Donde:

$\Delta V_k$ : Variación de tensión, en el sitio de medición, en el intervalo k de 10 minutos.

$V_k$ : Tensión eficaz (RMS) medido en cada intervalo de medición de k de 10 minutos

$V_n$ : Tensión nominal en el sitio de medición.

La calidad de dicha tensión se evaluará teniendo en cuenta las transiciones de los valores eficaces (RMS), medidos en intervalos de 10 minutos, con relación a la tensión nominal. Las mediciones de los armónicos se realizan con un equipo de medición de distorsiones armónicas de tensión como se estipula en la norma IEC 61000-4-7. En cuanto a los límites, los

valores eficaces (RMS) de las tensiones armónicas individuales ( $V_i'$ ) y los de distorsión armónica total (THD), indicados como porcentaje de la tensión nominal del sitio de medición respectivo, nunca deben sobrepasar los valores límite ( $V_i'$  y THD) que se señalan a continuación [19].

En la Tabla 4 se indica el porcentaje de Distorsión Armónica Total según el orden de la armónica respecto a la onda fundamental (THD) ya sea en transformadores de distribución o en otros puntos de medición, y también en la Tabla 5 se muestra las variaciones de tensión admitidas en bajo voltaje.

Tabla 4: Tolerancia  $V_i$  o THD, respecto a la tensión nominal del punto de medición según el orden del armónico [19]

Orden (n) de la armónica y THD	V>40kV	V≤40kV
Impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
Impares múltiplos de 3		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
THD	3	8

Tabla 5: Variaciones de voltaje admitidas en baja tensión [19]

BAJA TENSIÓN	PORCENTAJE
Zona Urbana	±8%
Zona Rural	±10%

### 2.4 Análisis Estadístico

Los armónicos de tensión y corriente son variables en el tiempo debido

principalmente a los cambios de configuración en el sistema y la aleatoriedad de la carga, es por esta razón que en este artículo se hace uso de algunas técnicas estadísticas de apoyo para poder determinar los niveles de armónicos de las cargas a analizar, en nuestro caso será el vehículo eléctrico, específicamente se toma en consideración la función de densidad de probabilidad y la función de distribución de probabilidad. Es importante tener en cuenta las siguientes variables:

$$FDT = \frac{V_n}{V_1} * 100(\%) \quad (5)$$

$$FDC = \frac{I_n}{I_1} * 100(\%) \quad (6)$$

Donde:

FDT, FDC: Factor de distorsión de tensión y corriente.

V<sub>n</sub>, I<sub>n</sub>: Tensión y corriente del armónico n.

V<sub>1</sub>, I<sub>1</sub>: Tensión y corriente de la componente fundamental.

Cuando se representa gráficamente los armónicos en el tiempo, se puede observar un gran número de irregularidades, los procesos físicos que producen dichas irregularidades conllevan algunos factores cuyos efectos no pueden predecirse, debido a esta incertidumbre una de las maneras de describir este comportamiento es mediante la estadística mediante la cual se transforma una gran cantidad de datos a una forma comprimida.

A partir de un grupo de mediciones  $X_{i,i=1,2,\dots,n}$  como es nuestro caso de estudio referente a vehículo eléctrico, teniendo en cuenta el valor mínimo y máximo  $X_{\min}$ ,  $X_{\max}$  respectivamente, se puede calcular el valor promedio ( $X_{avg}$ ) y la desviación estándar ( $\sigma_x$ ) de la siguiente manera:

$$X_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (7)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{avg})^2}{n - 1}} \quad (8)$$

Un juego de datos que describa una distribución normal posee múltiples beneficios, sobretodo porque ofrece información de la posibilidad de ocurrencia de un evento en nuestro caso un armónico.

$$px = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x}} \frac{-(x-X_{avg})^2}{2\sigma^2} \quad (9)$$

Si la señal es aleatoria en su totalidad, su distribución será normal, sin embargo, si la señal posee una importante cantidad de componentes determinísticas entonces la distribución de probabilidad real se desviará de una distribución normal.

El histograma o funciones de densidad de probabilidad es un gráfico que nos indica la porción del total de mediciones que se ve reflejada en varios intervalos.[20]

### 3. Vehículos Eléctricos

En estos días las ciudades crecen de manera apresurada y cada vez se hace más dificultosa la movilidad, por lo cual es imprescindible disponer de un transporte sostenible, pero sobretodo amigable con el medio ambiente [21]. El mundo todavía depende en gran medida de la energía convencional no renovable proveniente de los combustibles fósiles para producir la energía que utilizamos a diario, y debido a la posible escasez de estos combustibles a mediano plazo, así como a cuestiones ambientales sobre las grandes emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera [22], [23], hace que se busque fuentes alternativas para poder cubrir la demanda energética [21], esto sumado al apoyo político e incentivos, da como resultado que se vaya aumentando paulatinamente la inserción de vehículos eléctricos en el mercado automovilístico.

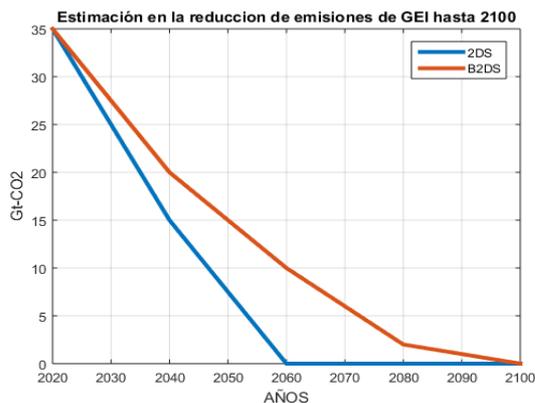
Es por esto que se han conformado diversos grupos de apoyo a la inclusión de EV's como la Iniciativa de Vehículos Eléctricos (EVI), que es un foro de política

multigubernamental establecido en 2009, dedicado a acelerar el despliegue de vehículos eléctricos en todo el mundo, el EVI cuenta con 10 gobiernos miembros (Canadá, China, Francia, Alemania, Japón, Holanda, Noruega, Suecia, Inglaterra y Estados Unidos). China y los Estados Unidos actualmente son co-líderes del EVI, aunque hay más países que participan activamente como India, Corea del Sur, Sudáfrica entre otros [24].

En cuanto al tema medio ambiental, existe un acuerdo de Paris, el cual se estableció con el objetivo de restringir el alza de la temperatura media global muy por debajo de 2 ° C. La Figura1 ilustra las reducciones de emisiones de GEI que reflejan dos posibles escenarios de acuerdo a la International Energy Agency (IEA):

- IEA Two Degree Scenario (2DS), el cual plantea reducir las emisiones en 2°C.
- IEA Beyond Two Degree Scenario (B2DS), el cual plantea reducir las emisiones más allá de 2°C.

En ambos casos representados en la Figura3, las emisiones de GEI relacionadas con la energía deberán alcanzar un valor neto de cero en la segunda mitad de este siglo.



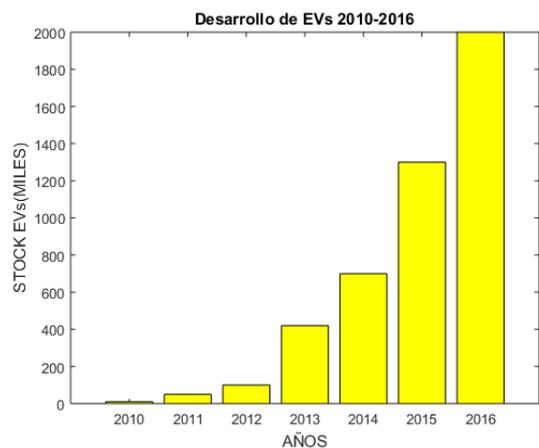
**Figura1.** Estimación en la reducción de emisiones de GEI hasta 2100 [24]

Se estima que, con la inclusión de los EV's en el mercado, se estaría disminuyendo la emisión de alrededor de 2.3 toneladas CO2 a la atmósfera [21].

El ingreso de países emergentes a una economía de escala requiere una demanda potencialmente creciente de la energía. El transporte fue responsable del 28% del

consumo global final de energía en 2016, las ventas mundiales de vehículos eléctricos, creció un 40% en 2016 debido a una expansión en la capacidad de producción, una mayor gama de modelos y un rendimiento mejorado del vehículo [25], ahora son más de 2 millones de EV's en todo el mundo, Noruega ha logrado indiscutiblemente el mayor triunfo de despliegue de vehículos eléctricos en términos de cuota de mercado mundialmente [24], es por esto que diferentes empresas fabricantes de vehículos como Nissan, Kia, Renault, Chevrolet entre otras ya han comenzado a desplegar EV's en sus líneas de producción [21].

En la Figura2 se puede apreciar el desarrollo en stock de vehículos eléctricos desde el 2010 hasta el 2016.



**Figura2.** Desarrollo de EV's entre 2010 y 2016 [24]

Los EV tienen la capacidad de consumir y almacenar energía de la red de distribución según convenga, pudiendo de cierta manera apoyar al sistema eléctrico [26]. Existen numerosas ventajas del EV sobre el vehículo de combustión tradicional, como son la amigabilidad con el medio ambiente, un motor más eficiente, el cual requiere menos costo de mantenimiento, y se encuentra con un rendimiento entre el 80%-90% con relación al 20%-30% del motor de combustión interna [22]. La máquina eléctrica tiene la gran ventaja de funcionar como motor o generador según convenga, consumiendo o recuperando energía en el frenado respectivamente, estadísticamente

está comprobado que el frenado regenerativo produce una extensión de la autonomía de la batería hasta en un 15% [27].

En función de que el número de usuarios de EV's vaya aumentando cada vez más, es necesario evaluar su impacto tanto para las redes de distribución como para otros equipos que se encuentren conectados a la red [23], [28], [29].

Las redes eléctricas de distribución están diseñadas tomando en consideración los probables picos de cargas, es así que en base a estudios se ha determinado que las corrientes de carga para un hogar promedio oscilan entre 10 y 25[A], lo que traducido a potencia activa es de 2 a 5[kW], pero con el ingreso de los EV's la curva eléctrica de demanda diaria va a incrementarse drásticamente ya que un auto eléctrico promedio usa al menos 2[kW] de potencia incluso para una carga lenta [30].

Esta nueva carga no controlada conduce a un efecto negativo en el sistema, porque pocos lugares de la red eléctrica estarían en capacidad de manejar grandes potencias demandas por el ingreso de EV's [21], es necesario gestionar inteligentemente la recarga de vehículos eléctricos, para que como se mencionó anteriormente no se afecte negativamente el pico de curva de demanda diaria, de tal manera que en horas hueco se tenga la posibilidad de almacenar energía [27].

Los vehículos idealmente podrán satisfacer su demanda de energía desde una fuente alternativa [31], pero debido a que la infraestructura de carga pública aún está en desarrollo, la mayoría de los usuarios de EV cargarán sus baterías en sus propios hogares, es por esto que en el escenario eléctrico es fundamental la inversión económica para potenciar la infraestructura actual de las redes de distribución, mediante nuevos proyectos energéticos, todas estas acciones brindaran un avance tecnológico importante para el Ecuador [26].

Existen principalmente 2 tipos de carga de EV:

- a) Carga Lenta: Utiliza una salida de corriente alterna monofásica de 230[V] y hasta 16[A], con este tipo de carga de 6 a 8 horas tardaría un vehículo en cargarse completamente
- b) Carga Rápida: Utiliza una salida de corriente alterna monofásica o trifásica con una corriente de hasta 63[A], cargar un EV convencional con este método tardaría entre 1 a 2 horas [32].

En base a estudios se ha estimado que la carga lenta (noche a mañana) constituirá el principal método de carga, esto significa que a corto plazo los usuarios de EV se conectarán a la red de baja tensión. Existen 2 tipos de niveles de carga para vehículos eléctricos, el Nivel 1 que funciona a 120[V] y el Nivel 2 que opera a 240[V].

Hasta la fecha los algoritmos que se han propuesto para poder controlar la carga de los EV tienen 2 objetivos específicos, el primero es maximizar los beneficios de las empresas distribuidoras al cambiar la carga de EV a horas valle de baja demanda y el segundo es maximizar los beneficios del usuario al poder ofrecer una carga óptima lo cual disminuirá el costo total de la electricidad. Sin embargo, los 2 métodos tienen limitaciones [33]. Así mismo algunas empresas distribuidoras en países europeos y americanos, han optado por el famoso TOU (Time of Use), para evitar la carga de EV's en horas pico, de esta manera se motiva a los usuarios a cargar sus equipos en horas valle donde la tarifa eléctrica es más baja [33].

Para poder suministrar la carga a los vehículos eléctricos el voltaje de CA se debe convertir a voltaje de CC con una potencia convertidor para cargar EV's. El voltaje de CC mencionado puede ser más utilizado para la carga de la batería EV a través de un convertidor DC / DC. Puede haber distorsión armónica causada por cada paso de este proceso [31].

La vida útil de un vehículo eléctrico viene ligada al tiempo que dure su batería, la cual tiene un promedio de 15 años, soportando

entre 2000 y 3000 recargas [10], [21], como se indica en la ecuación.

$$Vida\ útil = \frac{\# \text{ recargas y descargas}}{365 \text{ dias}} \quad (10)$$

Actualmente los tipos de baterías que más se usan para EV son las de hidruro metálico de níquel (NiMh) y las de Litio Lion (Li-ion) [33], que tienen un rendimiento aproximado de 0.16 kWh/kg, aun con el avance de la tecnología, el rendimiento de estas está aún por debajo del de la gasolina que tiene 13kWh/kg [21], este es un tema que habrá que irlo mejorando con el tiempo.

Tabla 6: Principales características de las baterías existentes en el mercado [26]

PARÁMETROS BATERÍAS	PB/ACID O	NI/CD	NI/MH	ION/LITI O
Tensión nominal(V/ce lda)	2.0	1.2	1.2	4.0
Potencia específica(W/kg)	150-300	80-150	200-300	420
Energía específica(W h/kg)	40	60	90	140
Autodescarga (%/mes)	4-6	10	15-25	2
Coste(\$/kWh)	120-150	250-350	300-450	600-800

El posible impacto debido a la carga no coordinada de estos equipos es ampliamente investigado, por ejemplo, en la referencia [28], se detalla sobre una alta penetración de EV en la red eléctrica puede acarrear perdidas en el sistema y variaciones en el perfil de tensión, también se predice que aproximadamente uno de cada tres hogares a mediano alcance poseerá un vehículo eléctrico, lo que conduce a violaciones en los límites legales del perfil de voltaje. Dado a las altas capacidades de los cargadores de batería EV que van desde pocos kW hasta algunas decenas de kW, los armónicos de la corriente emitida podrían ser elevados, inclusive, aunque la THD sea de alrededor del 10% [28].

En los últimos años se han ido desarrollando varios estudios que evalúan el impacto y las correlaciones entre los cargadores EV y las distorsiones armónicas, tomando a consideración algunas variables como son: tiempos de inicio de cargas individuales y estados iniciales de carga de las baterías. Uno de los principales obstáculos en la conexión a la red de los EV es la evaluación de la capacidad de la red para suministrar la potencia de carga de los EV.

La calidad de energía eléctrica es un aspecto trascendental en lo concerniente a la fiabilidad y seguridad de las redes y más aun recientemente con el ingreso de las famosas redes inteligentes, que se verán fuertemente afectadas a corto plazo con el ingreso de EV [31].

Tabla 7: Principales tipos de EV's con potencia de batería y corriente de carga [21]

Marca y Modelo de EV	POTENCIA KWH	CORRIENTE KA
Chevrolet Volt	16	0.0242
Ford Focus	23	0.0348
Hyundai Ioniq	28	0.0424
Kia Soul	27	0.0409
Nissan Leaf	24	0.0364
Peugeot Partner	22.5	0.0341
Renault Twizy	6.1	0.0092

La introducción de los EV's en el parque automotor ecuatoriano, dependerá de algunos aspectos ya mencionados como son: infraestructura, incentivos del gobierno, costos de operación etc. En cuanto a la Reforma Tributaria en su Ley de Fomento Ambiental, se señala que se puede importar al país vehículos eléctricos libres de impuestos cuando su valor no exceda los \$35000.

Actualmente en el Ecuador se han vendido 6851 vehículos híbridos y 240 vehículos totalmente eléctricos, que oscilan entre los \$14900 y \$34900. Se ha indicado que para los usuarios de autos eléctricos habrá una tarifa menor de energía de \$ 0,05 por

kilovatio hora (KW/h) cuando carguen la batería en la madrugada, en general la tarifa media es de \$ 0,08, Tomando en consideración esto se puede proveer 4 posibles escenarios de niveles de penetración de autos eléctricos puros:

- 1% durante el año inicial 2016, es decir 30 EV's
- 5% en el año 2020, 150 EV's
- 10% en el año 2024, 300 EV's
- 30% en el año 2030, 900 EV's [10]

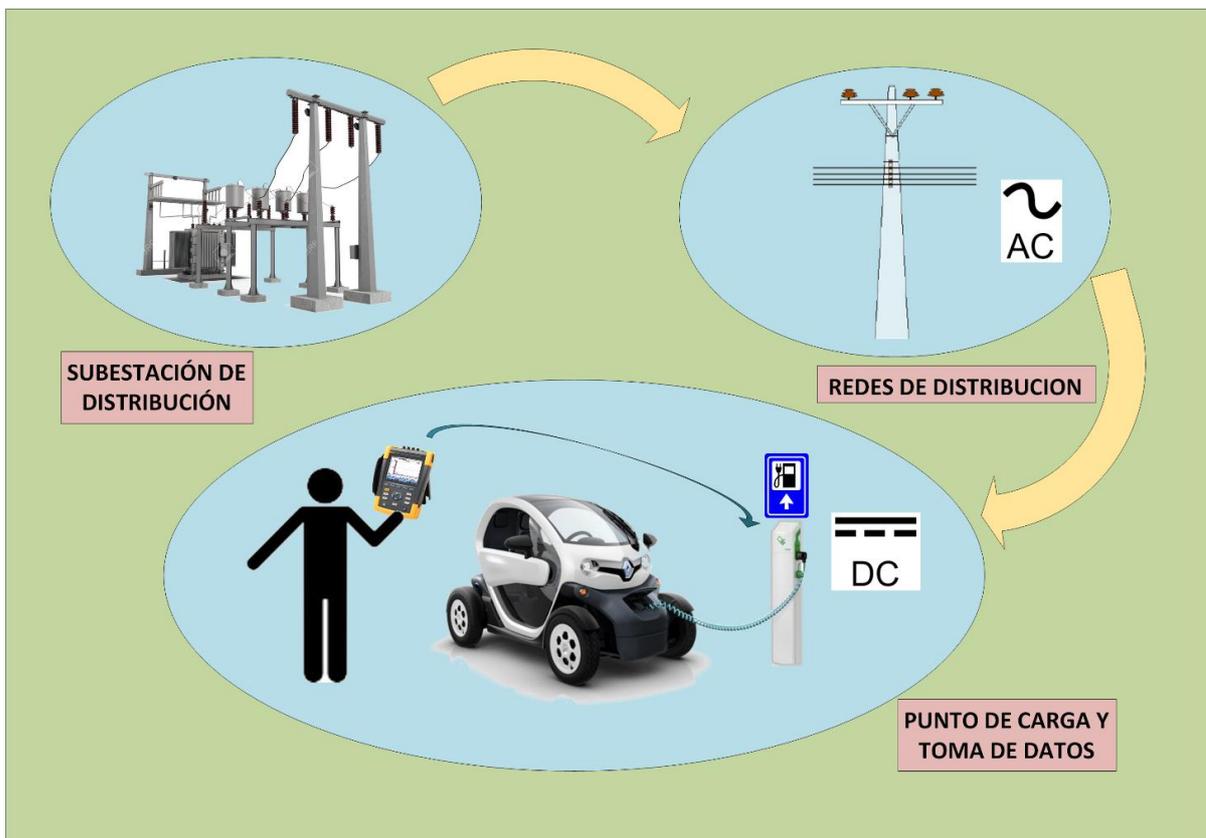


Figura3. Proceso de toma de datos del vehículo eléctrico

#### 4. Transformada Hilbert-Huang

Para poder analizar series de datos que muestran cambios en amplitud o frecuencia a lo largo del tiempo, es importante tener una herramienta matemática que pueda precisar la amplitud y frecuencia instantánea [13]. Es imperante por lo tanto pensar en el concepto de frecuencia instantánea como el desarrollo en frecuencia que va

tomando la oscilación local de una serie de datos a lo largo del tiempo. En el caso de la amplitud instantánea, también resulta trascendental definir la evolución que va tomando su valor de pico o eficaz [13].

La Transformada Hilbert (TH) constituye una herramienta matemática para el análisis de señales mediante la cual se puede analizar datos no lineales y no estacionarios a diferencia de otras transformadas de fácil cálculo y amplia

implementación como Fourier cuya principal desventaja es su bajo rendimiento en situaciones de ruido mediano o intenso o como la transformada wavelet la cual puede generar muchos pequeños picos indeseables en todas las frecuencias escala y hace que los resultados sean confusos y difíciles de interpretar. [34][35].

TH puede definir la frecuencia instantánea de una serie de datos desde de la definición de una señal analítica dispuesta por dos funciones en cuadratura: la misma serie en sí y su transformada matemática [13].

Es decir, se puede analizar una determinada señal y descomponer o calcular su contenido en frecuencia. La Transformada de Hilbert construye la señal con la mitad de la información en el dominio de tiempo y la otra mitad en el dominio de frecuencia, esta razón la hace única y por eso tiene variados usos en ambientes prácticos cotidianos [36].

Viene definida por:

$$s^*(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{s(\tau)}{t - \tau} d\tau \quad (11)$$

Lo cual es igual a una rotación de 90° en la fase de cada componente armónica de una determinada señal, que se está analizando, esta ecuación viene a partir de una convolución de la función  $s(t)$  con  $\frac{1}{t}$ , por ende enfatiza las propiedades locales de  $s(t)$ .

Dado que en (11) se tiene una integral impropia para  $t - \tau$ , hay una singularidad al integrar, para resolver este problema se calcula de manera simétrica con respecto a  $t - \tau$ , como se indica en la ecuación (15)

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{s(\tau)}{t - \tau} d\tau = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \left[ \int_{-\infty}^{t-\epsilon} \frac{s(\tau)}{t - \tau} d\tau + \int_{t+\epsilon}^{\infty} \frac{i(\tau)}{t - \tau} d\tau \right] \quad (12)$$

Y la transformada inversa de Hilbert-Huang viene definida por:

$$s(t) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{s^*(t)}{t - \tau} d\tau \quad (13)$$

$s^*(t)$  y  $s(t)$  representan un par transformado de Hilbert.

De la definición de la TH  $s^*(t)$ , se interpreta como una convolución según (7):

$$s^*(t) = s(t) * \frac{1}{\pi} \quad (14)$$

Además la Transformada de Fourier de  $\frac{1}{\pi t}$  también es la función de transferencia dada por  $-j \operatorname{sgn}(f)$  donde  $f$  será la función que queramos analizar, gracias a la convolución en el dominio del tiempo de la Transformada de Fourier de  $s^*(t)$  se expresa mediante  $S^*(t)$  de la siguiente manera (8):

$$S^*(t) = -j \operatorname{sgn}(f) S(f) \quad (15)$$

En el dominio de la frecuencia, el resultado se obtiene entonces multiplicando el espectro  $s^*(t)$  por  $j(+90^\circ)$  para las frecuencias negativas y por  $j(-90^\circ)$  para frecuencias positivas.

Con lo analizado anteriormente, se puede calcular la HT de una señal  $s(t)$ , tratándola como un sistema invariante en el tiempo(LTI) ya sea con respuesta al impulso o también con su equivalente en función de transferencia [36].

Tiene variadas aplicaciones como selectividad en fase de un tipo de modulación en amplitud llamado modulación en banda lateral única (ssb). Es importante destacar que se puede aplicar la Transformada de Hilbert a toda señal que tenga Transformada de Fourier.

Suponiendo que se está midiendo una señal como esta  $y = A \cos(\omega t)$ , para esta señal la transformada Hilbert será:

$$g(t) = A \cos(\omega t) + j A \sin(\omega t) = A e^{j\omega t} \quad (16)$$

Tener en cuenta que:

$$|g(t)| = A, \frac{d|g(t)|}{dt} = A\omega \quad (17)$$

#### 4.1 Propiedades de la Transformada de Hilbert-Huang

Para facilidad en la escritura, la transformada de Hilbert de  $s(t)$  se la representará así:

$$s^*(t) = HBT(s(t)) \quad (18)$$

1. La *HBT* de una constante equivale a cero.
2.  $HBT[HBT(s(t))] = -s(t)$ , es decir si se toma la *HBT* de la *HBT* de una función, es lo mismo que multiplicar dicha función por -1.
3. Las funciones  $s(t)$  y  $HBT[s(t)]$  son ortogonales, es decir:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \int_{-k}^k s(t) * HBT(s(t)) dt = 0 \quad (19)$$

4. Las normas de una función y su *HBT* son las mismas.

$$\int_{-\infty}^{\infty} |s(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |HBT(s(t))|^2 dt \quad (20)$$

5. La *HBT* de una función se la obtiene convolucionando dicha función con  $(\pi t)^{-1}$ .
6. La Transformada de Fourier de la *HBT* de cualquier función se obtiene multiplicando la Transformada de Fourier de esa función por  $j * sgn(f)$  [37].

En adición a lo anteriormente expuesto, esta transformada puede ser calculada de algunas otras formas:

- a) Determinarla a partir de  $s(t)$ , con la aplicación del operador lineal de convolución.

$$h(t) = \frac{2}{\pi} * \frac{\text{sen}^2\left(\frac{\pi t}{2}\right)}{t} \quad (21)$$

donde:

$t \neq 0$  y  $h(t) = 0, n = 0$  de la forma  $s(t) * h(t)$ , lo que es equivalente a aplicar un filtro.

- b) Reduciéndolo a una presentación de favor si  $s(t)$ , es una senoide, esto quiere decir si  $s(t) = A \cos(\omega t + \phi)$  entonces  $s^*(t) = A \text{sen}(\omega t + \phi)$ , para valores reales de  $A$  y  $\phi$  con  $\omega > 0$ .

- c) Partiendo de la Transformada de Fourier, y cambiando al dominio de la frecuencia la señal analítica,  $\mathcal{F}^+\{\hat{s}(t)\}$  con  $\hat{s}(t) = s(t) + i0$ , luego multiplicándolo por la función escalón unitario y por último realizando la transformada inversa de Fourier ( $\mathcal{F}^-\{\hat{S}(\omega)\}$ ), de lo cual se obtiene  $\hat{s}(t) = s(t) + i s^*(t)$ , y esto es equivalente a  $(\partial_t + i s^*(t)) * s(t)$ .

Por si sola la Transformada Hilbert tiene un limitado uso al necesitar de una señal de estrecho ancho de banda para que su resultado sea significativo, debido a esta limitación se suele usar la versión mejorada Transformada Hilbert-Huang [13], introducida por Norden Huang en 1998, la cual combina la Transformada Hilbert con el Método de Descomposición de Modo Empírico (EMD, Empirical Mode Decomposition), el cual consiste en descomponer cualquier señal temporal  $s(t)$  en una serie de funciones que son meramente oscilatorias que poseen modulación suave y pueden ser representadas de una manera fácil y a

estas funciones se les llama Funciones de Modo Intrínsecas (IMF, Intrinsic Mode Functions) [38].

La THH se fundamenta en hacer una descomposición de la señal analizada en señales mono-componentes (IMF), partiendo de las IMF's, por medio de la transformada de Hilbert se logra obtener la frecuencia instantánea de dicha señal. La característica fundamental de la THH es que la descomposición tiempo-frecuencia es adaptativa, lo que quiere decir que no está limitada por la relación de incertidumbre tiempo-frecuencia, lo cual, si se da en la Transformada de Fourier o Wavelet, por ejemplo en [39] se hace uso de la THH para poder ubicar una fuente de tensión todo esto basado en la señal de corriente monitoreada, esta corriente es transformada para poder obtener un diagrama tempo-frecuencial y diagrama IMF antes de hallar la ubicación relativa de la fuente de tensión.

Cuando la señal de voltaje y corriente contiene componente inter-armónico, porque el ancho de frecuencia entre armónico e inter-armónico es menor que la onda fundamental, el ancho de la función de ventana debe ser mayor que un período, es decir, debe aumentar el ancho de la ventana. Al mismo tiempo, la muestra al componente inter-armónico es muy difícil de lograr la sincronización y la fuga de algoritmo FFT es inevitable, y que podría conducir a falsas inter-armónicas y armónico, o conducir a la real armónica y armónica sumergida. La Transformada Wavelet puede obtener una mayor resolución en el dominio de tiempo y el dominio de frecuencia al mismo tiempo, pero la función base de Wavelet Transform está predeterminada, el efecto de la extracción de la señal armónica depende de la elección de la función de base, por lo que la Transformada Wavelet no puede garantizar el efecto de descomposición óptimo [40].

El EMD descompone cualquier conjunto de datos no lineales y no estacionarios en un número finito y a menudo pequeño de IMF sin requerir una base a priori como en el caso de Fourier y métodos basados en wavelets. Es decir, funciona eliminando las oscilaciones de frecuencia más altas utilizando la resta de variaciones de forma de onda de cruce por cero. De esta forma, los IMF se clasifican desde la frecuencia más alta hasta la frecuencia más baja, tomando en cuenta que, en cualquier tiempo, la serie de datos temporal lleva consigo diversos modos oscilatorios simples de distinta frecuencia, cohabitando al mismo tiempo en la señal.

Este método, por lo tanto, descompone la señal en componentes de modulación de amplitud media (AM) y modulación de frecuencia (FM). Cada IMF representa una simple oscilación en la señal. Se puede pensar en un componente armónico a este respecto. Sin embargo, contrariamente a los componentes armónicos de la amplitud y frecuencias de la IMF no son estacionarios y pueden cambiar a tiempo [34].

La descomposición muestra una familia de componentes IMF ordenados mediante la frecuencia. Cada IMF posee oscilaciones con una frecuencia inferior a la anterior. A pesar que el término "frecuencia" nos es muy considerado cuando se usa para hacer referencia a las IMF, se puede decir que es más adecuado para definir su naturaleza. Aunque una IMF sea de naturaleza oscilatoria, esta puede tener amplitud y frecuencia variable a lo largo del tiempo[35]. El Método de Descomposición Empírico supone lo siguiente para una forma de onda:

1. El número de puntos extremos y el número de puntos cero debe ser igual o diferir en uno a lo mucho.

2. La media de la envolvente del máximo local y la envolvente del valor mínimo local debe ser cero.[34]

Sin embargo, en la aplicación de THH, el problema más importante es el efecto final por las siguientes razones:

1. En el uso de THH para la señal no estacionaria, los fenómenos divergentes aparecerán en ambos extremos de los datos, y los resultados de los cuales irán "contaminando" gradualmente toda la serie de datos, lo que hace que los resultados estén seriamente distorsionados.
2. Y mientras la transformación de Hilbert del IMF, los efectos extremos severos también aparecerán en ambos extremos de la señal [41].

## 5. Caso de Estudio

El incremento paulatino de automóviles eléctricos en el mercado hace que surja la necesidad imperiosa de evaluar el impacto armónico que estos vehículos producen hacia la red de distribución eléctrica. Para esta investigación sobre el análisis de armónicos, el equipo que se utilizó como ya se mencionó con antelación fue el Renault modelo Twizy 80, el cual se representa en la Figura6, para la toma de datos de carga se usó el Fluke 435 como se puede ver en la Figura4, este es un analizador trifásico de calidad de energía eléctrica, que cuenta con diversas funciones como: osciloscopio en tiempo real, cálculo de pérdida de energía, medición de potencia eléctrica unificada, realización de mantenimiento predictivo, análisis a largo plazo y estudios de carga, posibilidad de capturas de forma de onda del evento, medición de flickers y transitorios, obtención de ondas de potencia y

eficacia del inversor de potencia, tiene una memoria de 16 Mb, además presenta una función única la cual cuantifica las pérdidas de energía en términos monetarios [42].

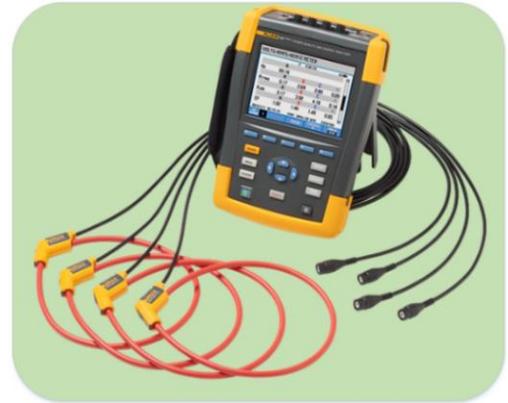


Figura4. Analizador de Red Fluke 435

Ya con el equipo necesario para nuestra investigación se procedió a la conexión del analizador de red Fluke 435 en la toma de carga exclusiva para el vehículo, se utilizó la configuración bifásica o también llamada fase dividida, como se observa en la Figura5.

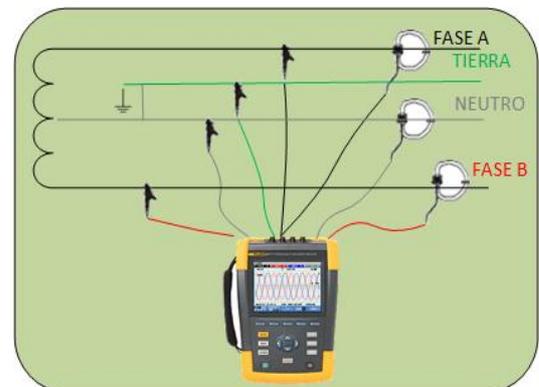


Figura5. Modo de conexión del analizador de red

El vehículo eléctrico que se toma en consideración para este artículo es propiedad de la Universidad Politécnica Salesiana-Sede Quito, específicamente del GIREI (Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes) y posee las siguientes características:

Tabla 8: Características del Renault Twizy. [43]

CARACTERISTICAS	VARIABLES
Motor	Eléctrico asíncrono
Velocidad de motor	7500 rpm
Autonomía	100 Km
Batería	Ion litio- 6.1KW
Tipo de carga	Único
Duración de carga	210 minutos aprox.
Potencia	13 KW
Velocidad máxima	80 Km/h

Cuando el Twizy está en modo de carga consume 2000W, lo cual es equivalente a una plancha doméstica, y gracias a un rectificador de onda se transforma la corriente alterna de 220V a 60V en continua para alimentar la batería de tracción, luego este voltaje se reduce a 12V para recargar la batería de servicio [35].

Se realizó la toma de datos de carga del vehículo eléctrico Renault Twizy durante aproximadamente 3 horas y media que es el tiempo promedio que tarde la batería en cargarse completamente, a través de una toma exclusiva de 220 [V], mediante la cual se pudo cerciorar que los datos obtenidos sean exclusivos del vehículo eléctrico y no haya afectación de otras cargas en las mediciones, como ya se había hecho referencia este vehículo posee un solo tipo de carga.



Figura6. Renault Twizy

Se logró la captura de alrededor de 6600 datos con un intervalo de 1 segundo entre cada medición, es

importante mencionar que este analizador nos permite el registro de datos máximos, mínimos, y medios, y serán estos últimos con los cuales se va a trabajar en todo el análisis, mediante el Fluke 435 las variables que fueron monitoreadas fueron: tensión y corriente pico, de medio ciclo, factores de cresta, frecuencia, ángulos de fase y THD tanto de corriente como de voltaje de cada una de las líneas y del neutro, se disponía de 3 tipos de datos: mínimos, medios y máximos, para el análisis se hizo uso de los valores medios.

Posteriormente se realiza la descarga de los datos medidos hacia un ordenador mediante el software Power Log Classic 4.4 que es propio del analizador, y de esta manera ya podemos manipularlos y exportarlos a Matlab para el análisis armónico, el cual es el objetivo de este estudio.

## 6. Algoritmo Matemático

Este algoritmo basa su principio de funcionamiento en un análisis estadístico correlacionado con la transformada de Hilbert-Huang, gracias al método de descomposición de modo empírico se obtiene funciones de modo intrínseco para cada uno de los armónicos analizados (3,5,7,9) tanto de voltaje como de corriente, esto se lo realiza en 4 etapas bien definidas.

En la primera etapa se realiza la importación de datos desde un archivo Excel el cual contiene las mediciones tanto de voltaje como de corriente del vehículo eléctrico, también existe la posibilidad de guardar estos datos en un archivo .mat en caso de que se quiera volver a cargar el mismo archivo Excel y correr el programa reiteradamente, para no perder tiempo al leer los datos desde el archivo .xlsx, estos datos son plotados según su porcentaje de distorsión armónica total, dependiendo del número de la armónica analizada,

tanto en voltaje como en corriente, en función del tiempo total de toda la carga del EV.

En la segunda etapa se realiza el análisis estadístico en la cual se determina la densidad de probabilidad de las funciones analizadas y se grafica esta densidad en función de la distorsión armónica total de cada componente, además se puede observar la probabilidad de ocurrencia de los eventos relacionados a distorsión armónica tanto de voltaje como de corriente para la línea 1 y 2.

En la tercera etapa se grafica la señal fundamental tanto de voltaje como de corriente, adicionalmente también se plotea el armónico tercero, quinto, séptimo, noveno y al final se realiza la suma de estas señales, determinando de esta manera la señal distorsionada, esto se lo realiza para la línea 1 y 2, también se obtiene un gráfico de barras donde se observa la afectación de cada armónico según voltaje y corriente.

Y por último, en la cuarta etapa se aplica el concepto de la transformada de Hilbert, mediante la metodología del modo de descomposición empírica que a su vez permite obtener las funciones de modo intrínseco (IMF) para voltajes y corrientes de la línea 1 y 2 respectivamente, las cuales son 5 o 6 dependiendo de la función. Se sigue el procedimiento hasta obtener una señal con media cero como indica el criterio de convergencia, El proceso se termina cuando el residuo arroja como resultado una función monótona que tiene sólo un máximo o un mínimo y ya no es posible extraer más funciones a partir de ésta, la última grafica está relacionada con la frecuencia y densidad espectral tanto de la Transformada de Fourier como de la Transformada de Hilbert-Huang, para poder determinar los beneficios de cada una de ellas.

---

**Algoritmo: Análisis de armónicos mediante Transformada Hilbert-Huang**

---

**Paso1: INICIO ALGORITMO DE HILBERT**

**Paso2: DEFINICION DE VARIABLES DE ENTRADA**

Fs,T,L,t,An,THDV,THDA,ArmV,ArmV

**Paso3: ASIGNACIÓN**

Fs=10000;

$T = \frac{1}{F_s}$ ;

L=1000

t=(0:L-1)\*T

An←60\*n← Representación de armónicos

THDV=Matriz de % de distorsión L1,L2 de V

THDA=Matriz de % de distorsión L1,L2 de A

ArmV=Matriz de % de armónicos L1,L2 de V

ArmA=Matriz de % de armónicos L1,L2 de A

**Paso4: VISUALIZACION DE DATA**

Graficar←Data

**Paso5: ANALISIS ESTADISTICO**

for i←length(Data)

tmp←Data(i)

a←min(tmp)

b←max(tmp)

c←a:d1:b

histograma(Data(i),c)

Datx←linspace(1.1\*a,1.1\*b,500)

Datay←pdfnorm(Datx)

Xg(i,i) ←(Datx,Datay)

end for

**Paso6: ANALISIS DE PROBABILIDAD**

for i←length(Xg)

x ←soit(Xg(j))

[muhat,sig] ←normfit(x,0,01)

Y(j,:) ←normedf(x,muhat,sig)

end for

return:x,y,muhat

**Paso7: ANALISIS FRECUENCIAL**

L←1:5

for k←1:L

n←(2\*k)+1

Xn=Data(k)\*sen(2\*π\*An\*t)

end for

Señal\_dist← $\sum_1^L X_n$

Graficar←señal\_dist

Y1←abs(fft(señal\_dist))/length(señal\_dist)

bar(y1) ←señal en función de la frecuencia

return←señal\_dist

**Paso8: ANALISIS HILBERT-HUANG**

D←señal\_dist

X\_dist←sen(2\*π\*60\*t)

Xt←D+X\_dist

---

---

```

SOL←Descomposición método EMD de
función Xt
SOL←imf
for l←1:length(imf)
    b(l)=sum(imf(l)*imf(l))
    th=angle(hilbert(imf(l)))
    d(l)=diff(th/Ts)/(2* $\pi$ )
end for

```

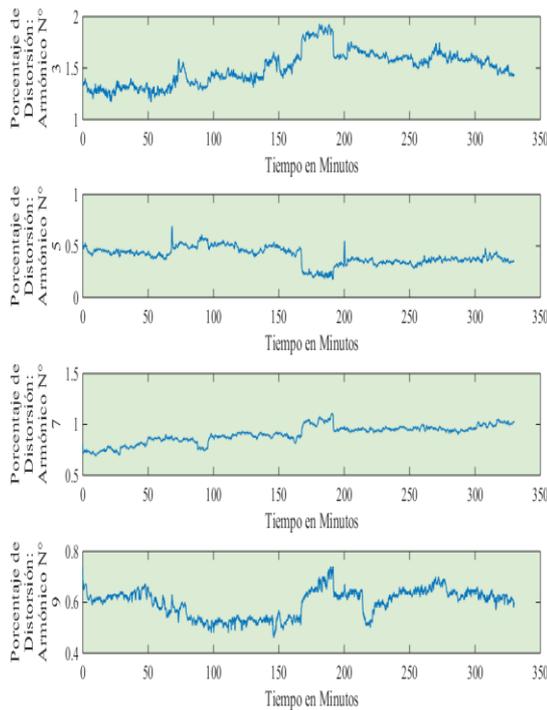
---

**Paso9:FIN ALGORITMO HILBERT-HUANG**

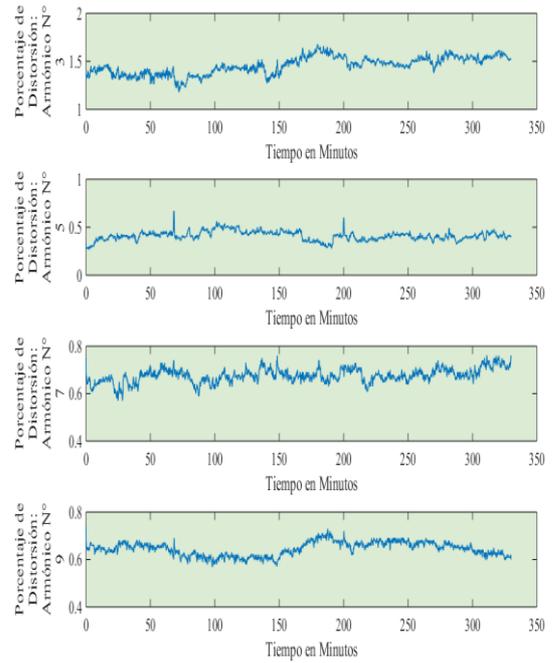
---

## 7. Análisis de Resultados

Una vez implementado el modelo matemático expuesto en el anterior capítulo se obtienen los siguientes resultados, en las figuras 7 y 8 se muestra la variación a través del tiempo del porcentaje de distorsión armónica de voltaje correspondiente al tercer, quinto, séptimo y noveno armónico los cuales son el objeto de nuestro estudio de la línea 1 y 2 respectivamente.

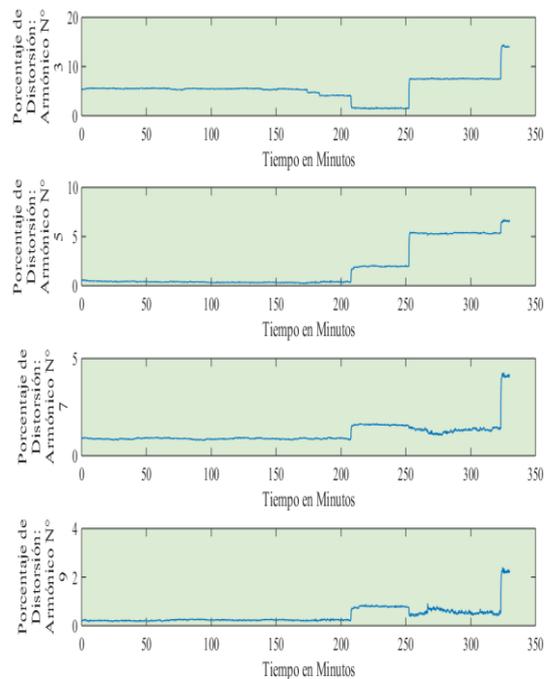


**Figura7.** Porcentaje de Distorsión armónica en voltaje Línea 1

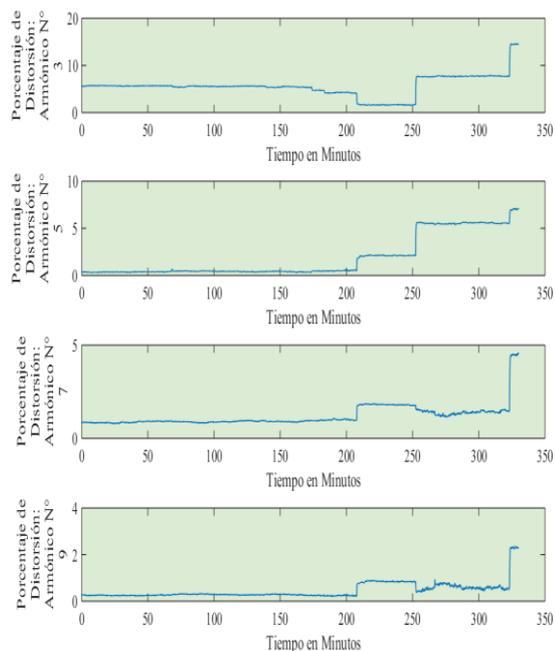


**Figura8.** Porcentaje de Distorsión armónica en voltaje Línea 2

Así mismo en las figuras 9 y 10, se muestra el porcentaje de distorsión armónica de corriente en función del tiempo correspondiente al tercer, quinto, séptimo y noveno armónico de la línea 1 y 2 respectivamente.

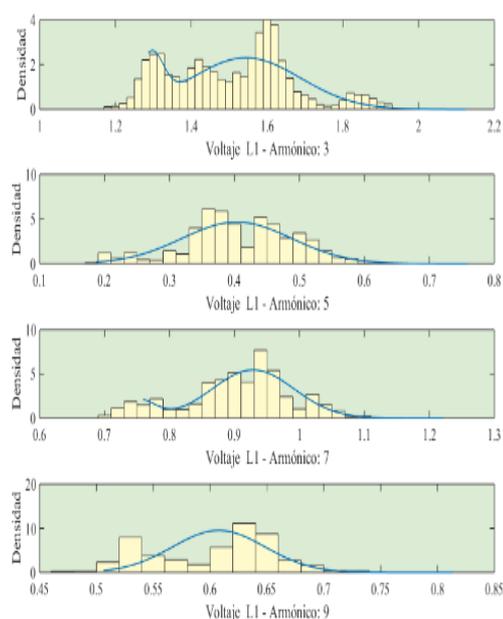


**Figura9.** Porcentaje de Distorsión armónica en corriente Línea 1

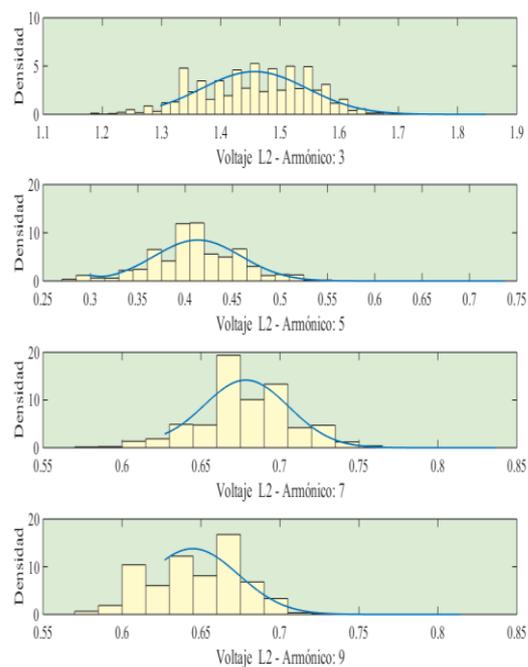


**Figura10.** Porcentaje de Distorsión armónica en corriente Línea 2

Posteriormente con el análisis estadístico ya mencionado se obtuvo la densidad de probabilidad de la armónica tercera, quinta, séptima y novena en cuanto al voltaje tanto de la línea 1 y 2, como se puede ver en las figuras 11 y 12.

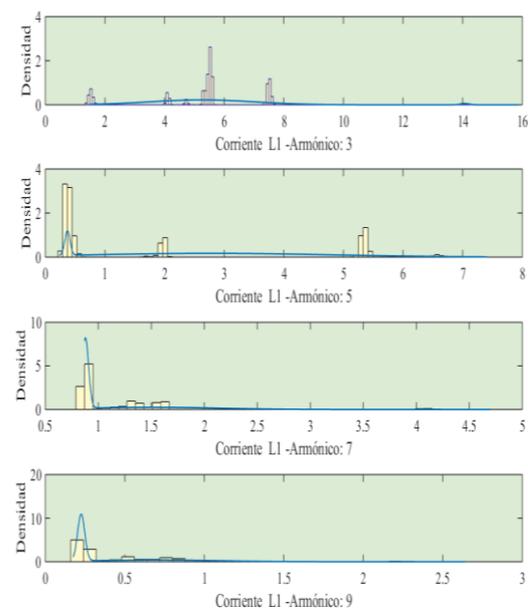


**Figura11.** Densidad de Probabilidad en voltaje Línea 1

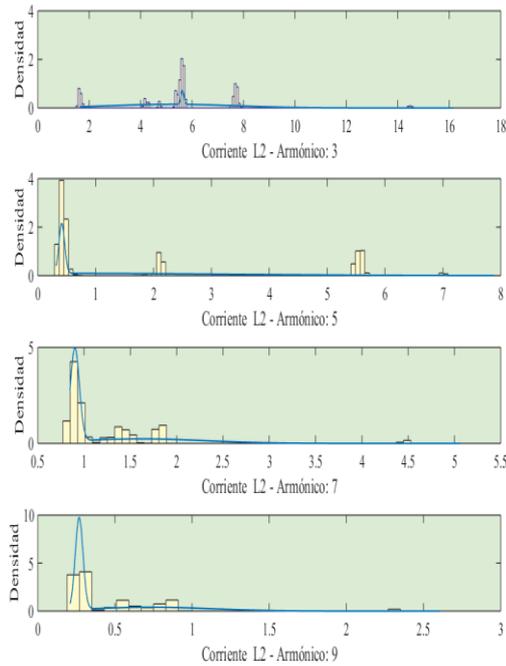


**Figura12.** Densidad de Probabilidad en voltaje Línea 2

De la misma manera se obtuvo la densidad de probabilidad de la variable de corriente de la armónica tercera, quinta, séptima y novena tanto de la línea 1 y 2, como se observa en las figuras 13 y 14.

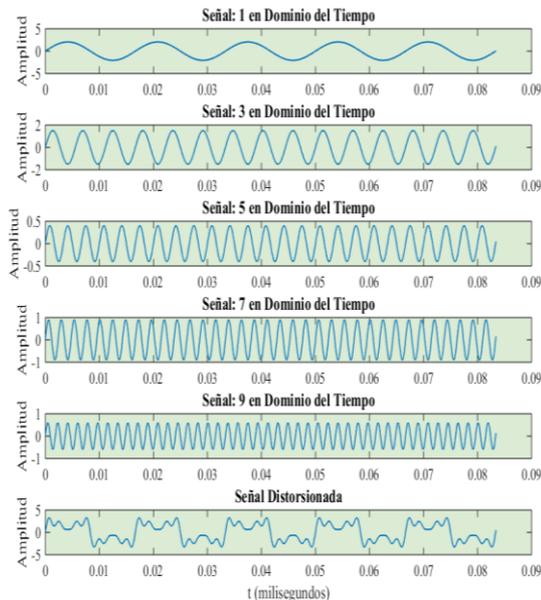


**Figura13.** Densidad de Probabilidad en corriente Línea 1.

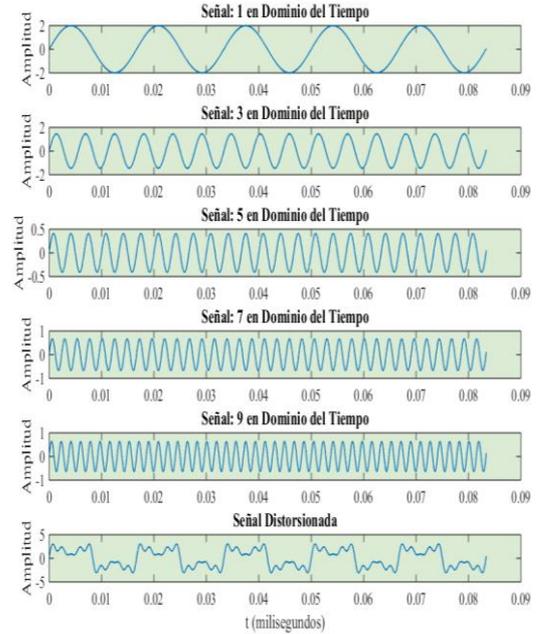


**Figura14.** Densidad de Probabilidad en corriente Línea 2.

Luego se pudo obtener las señales en función del tiempo tanto de la señal fundamental como de sus armónicas tercera, quinta, séptima y novena de la variable de voltaje de la línea 1 y 2, como se visualiza en las figuras 15 y 16.

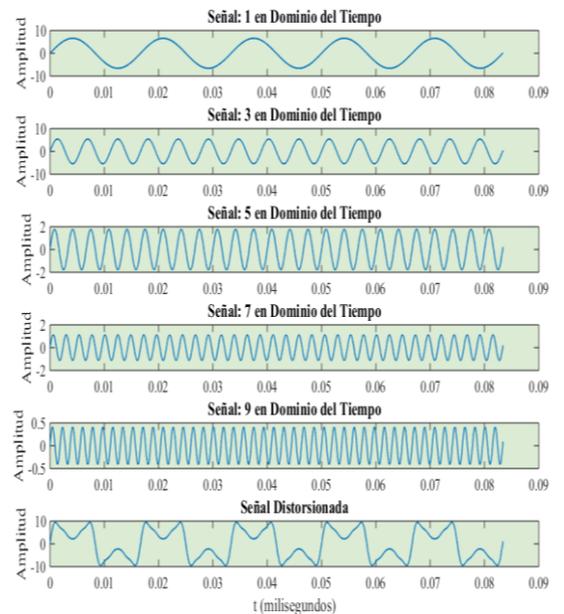


**Figura15.** Señal fundamental de voltaje línea 1 con suma de armónicos del 3 al 9no.

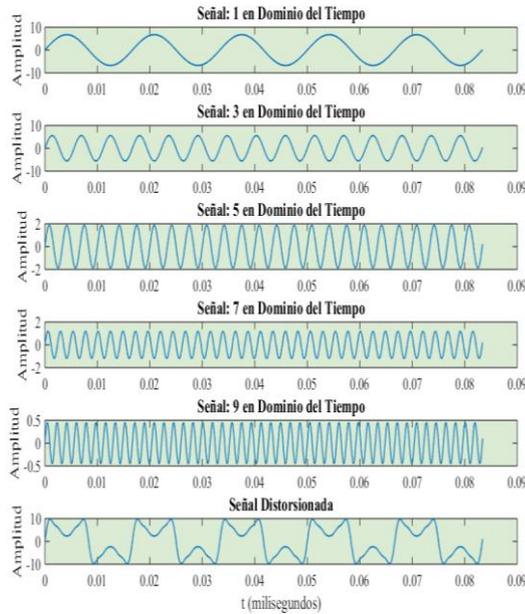


**Figura16.** Señal fundamental de voltaje línea 2 con suma de armónicos del 3 al 9no.

Del mismo modo que para los voltajes se obtiene las señales fundamentales y armónicas tercera, quinta, séptima y novena de corriente de la línea 1 y 2, como se puede ver en las figuras 17 y 18 respectivamente.

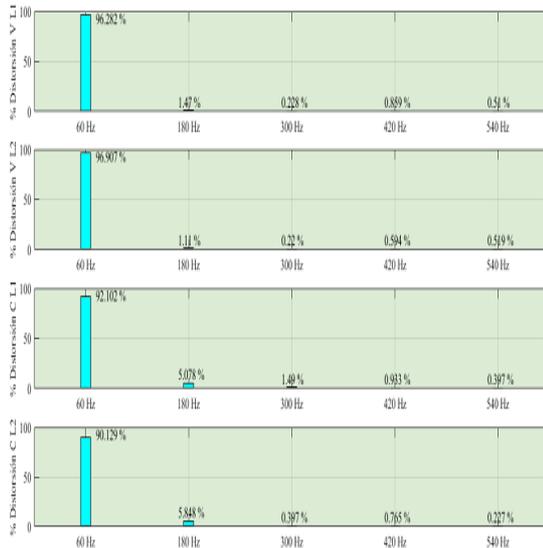


**Figura17.** Señal fundamental de corriente línea 1 con suma de armónicos del 3 al 9no.

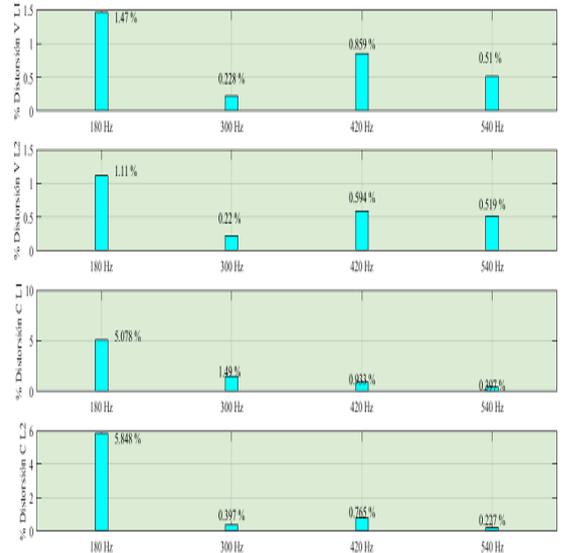


**Figura18.** Señal fundamental de corriente línea 2 con suma de armónicos del 3 al 9no.

En las Figura19 y 20 se puede apreciar el análisis frecuencial de voltajes y corrientes tanto de la línea 1 como de la línea 2, esto se lo pudo realizar con la ayuda de la Transformada Rápida de Fourier.

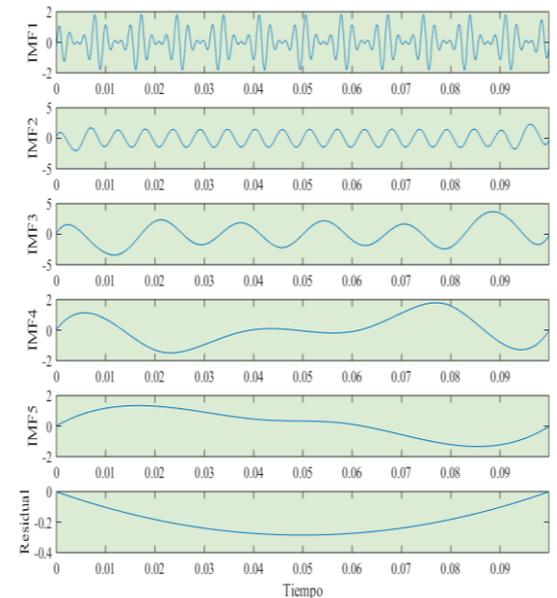


**Figura19.** Análisis espectral de funciones de voltaje y corriente del primer al noveno armónico

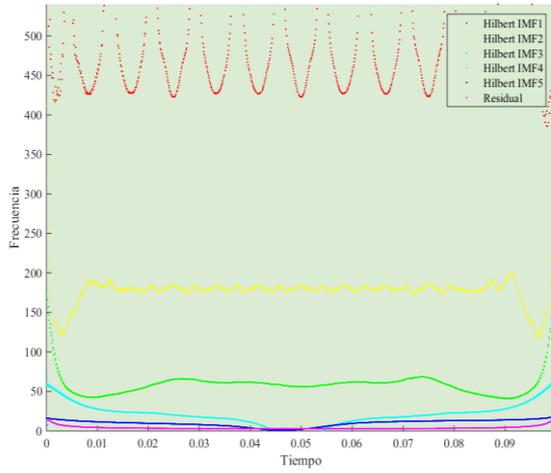


**Figura20.** Análisis espectral de funciones de voltaje y corriente del tercer al noveno armónico

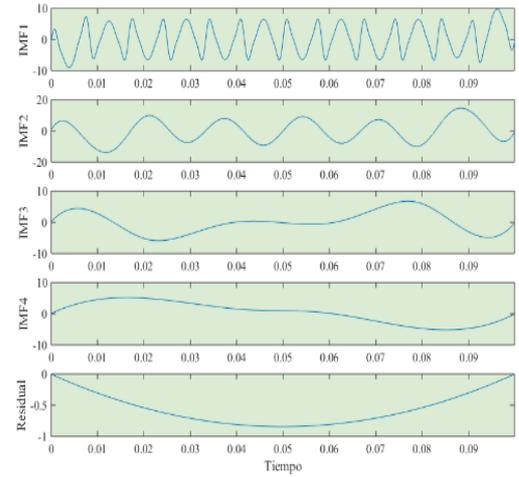
A continuación, se determina las funciones de modo intrínseco (IMF) de las funciones de tensión y corriente de la línea 1 y 2 como se ve en las figuras 21,23,25 y 27 respectivamente. Adicional a esto, también se calcula y presenta la Transformada de Hilbert tanto de la señal de voltaje como corriente de la línea 1 y 2 como se visualiza en las figuras 22,24,26 y 28 respectivamente.



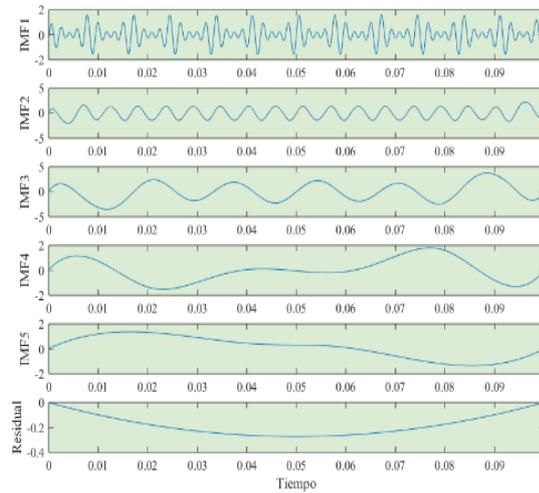
**Figura21.** Funciones de modo intrínseco correspondientes al voltaje de línea 1



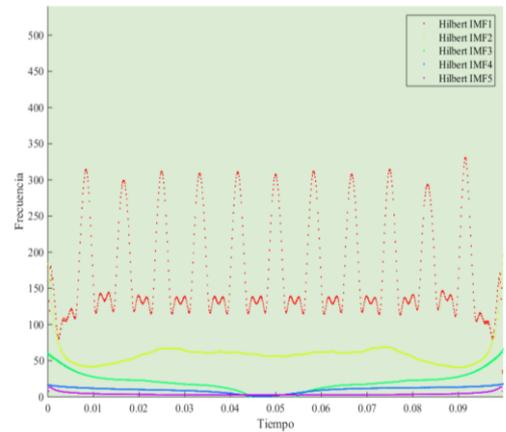
**Figura 22.** Transformada de Hilbert de la variable de voltaje correspondiente a la línea 1.



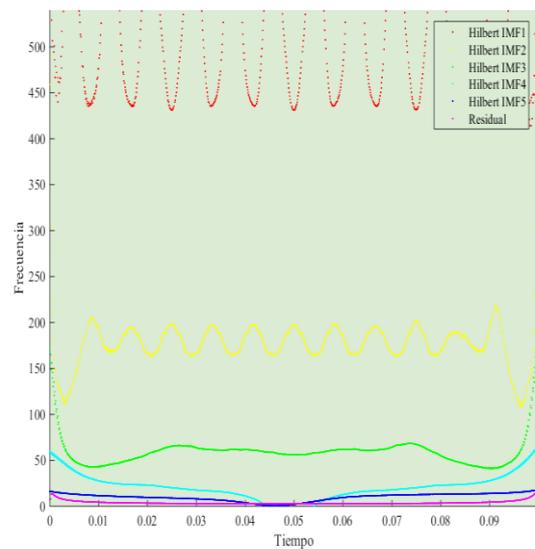
**Figura 25.** Funciones de modo intrínseco correspondientes a la corriente de línea 1



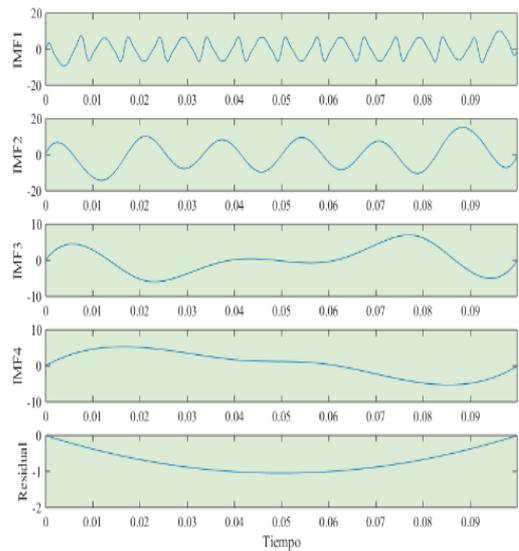
**Figura 23.** Funciones de modo intrínseco correspondientes al voltaje de línea 2



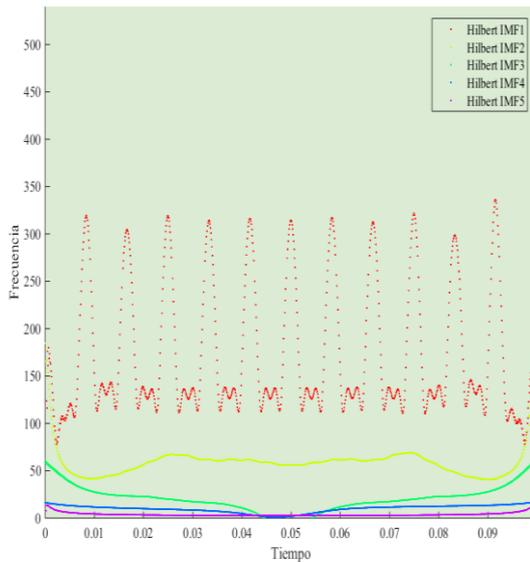
**Figura 26.** Transformada de Hilbert de la variable de corriente correspondiente a la línea 1.



**Figura 24.** Transformada de Hilbert de la variable de voltaje correspondiente a la línea 2.

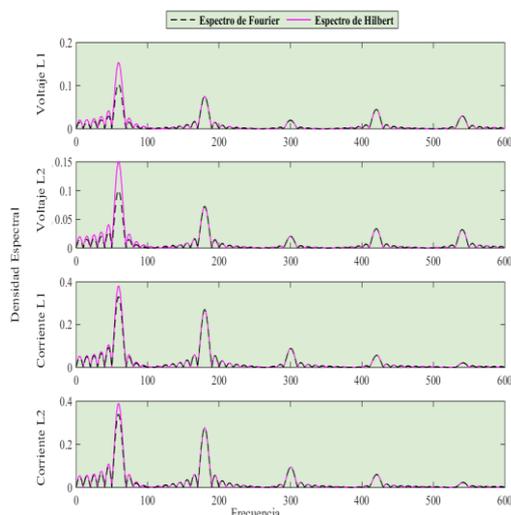


**Figura 27.** Funciones de modo intrínseco correspondientes a la corriente de línea 2



**Figura 28.** Transformada de Hilbert de la variable de corriente correspondiente a la línea 2.

Finalmente, como se puede apreciar en la Figura 29, se presenta una comparación entre los espectros marginales de Hilbert-Huang y Fourier tanto de los voltajes y corrientes de la Línea 1 y 2 respectivamente, esto con el fin de poder determinar las bondades o puntos a favor de la una con relación a la otra.



**Figura 29.** Comparación del espectro marginal de la Transformada Hilbert Huang y Fourier.

El espectro de amplitud de Fourier a diferencia del de Hilbert-Huang, define componentes armónicos globalmente y por lo tanto arroja características

promedio durante toda la duración de los datos, por esta razón su espectro no tiene tanta nitidez como el de Hilbert Huang, que tiene división de frecuencia, es decir la frecuencia instantánea se pueden calcular para cada punto de tiempo mientras que la distribución de frecuencia de tiempo para Fourier se calcula usando una ventana deslizante.

## 8. Conclusiones

Como toda carga no lineal el vehículo eléctrico inyecta componentes armónicas al sistema eléctrico de distribución, mediante esta investigación se ha podido determinar que el armónico que más efecto negativo produce hacia el sistema es el tercer y séptimo armónico en voltajes y el tercer y quinto armónico en corrientes, la afección de las armónicas impares ya es un efecto previsible en todas las cargas no lineales y rotativas, En el estudio realizado el nivel máximo de distorsión alcanzado en cuanto a voltaje es de 1.47% en la línea 1 y de 1.11% en la línea 2, es decir no supera el límite permisible de 8%; en las corrientes se tiene un nivel máximo de distorsión de 5.078% en la línea 1 y de 5.848% en la línea 2, entonces haciendo la relación de ISC/IL para armónicas menores a 11 nos da un resultado de 625, ya que nuestra corriente de cortocircuito es 10kA y la corriente a plena carga es de 16A, por lo tanto estamos dentro del nivel donde la tolerancia máxima de distorsión es de 12%, es decir no se supera los límites establecidos en la norma IEEE Std 519-2014 y el órgano regulador ecuatoriano en este caso el ARCONEL, esto se lo puede apreciar claramente en las Figuras 20 y 21. Además, gracias al análisis estadístico empleado se pudo determinar la densidad de probabilidad mediante la cual se puede visualizar que el armónico tercero de voltaje y

corriente es el más propenso a ocurrir en el sistema.

En cuanto al uso de la Transformada Hilbert Huang se puede destacar su potencia y superioridad, ya que es una herramienta matemática destinada para la apreciación del espectro de señales que contienen datos tanto no lineales como no estacionarios, a diferencia de Fourier, que posee algunas limitaciones referentes al manejo de datos variables en el tiempo, aunque esta última sirvió de apoyo para realizar el análisis frecuencial de armónicas y realizar una comparación entre las 2 herramientas. La importancia de la Transformada de Hilbert Huang se fundamenta en hacer una descomposición de la señal analizada en IMF's con esto se logra obtener la frecuencia instantánea de dicha señal consintiendo el análisis de variables sin un previo procesamiento, otorgando resultados de sencilla interpretación física, y así determinar la afectación que cada armónico produce al sistema de distribución.

Se comprobó que mientras la Transformada de Fourier se centra en mostrar que hay datos extraños u outliers o frecuencias particularmente altas en algunas de las series, el espectro de Hilbert los presenta y localiza momentáneamente, pero en el mismo espacio, está en capacidad de divisar otras frecuencias de oscilación en dicha señal, es decir el espectro de Hilbert-Huang detecta modos de oscilación de frecuencias relevantes.

Los resultados indican que la THH es claramente superior a la Transformada Rápida de Fourier por los detalles de no estacionalidad sobre los datos que no pueden ser investigados por métodos tradicionales, ya que estos tienden a difundir la energía de la señal en varias frecuencias, que a veces conduce a interpretaciones erróneas de las características de los datos. Este método es adaptativo y estos períodos, oscilaciones y tendencias son obtenido

por la descomposición de los datos originales. Con el concepto de frecuencia instantánea, THH proporciona una mejor representación en el dominio de frecuencia brindando una resolución más fina que los espectros convencionales de Fourier.

La Transformada Hilbert-Huang, entrega la información local, adaptable y eficiente directamente desde los datos sin ninguna linealidad, suposiciones o restricciones estacionarias. Por lo tanto, se puede aplicar a señales no lineales variantes de tiempo. Estas fortalezas lo convierten en una herramienta muy poderosa.

En la distribución de frecuencia de tiempo, si la señal no es estacionaria o no lineal, el espectro obtenido a partir de métodos basados en Fourier se centraliza en la baja frecuencia y da como resultado algunas oscilaciones falsas o no legítimas. Las medidas utilizadas para interpretar los resultados de los espectros de Hilbert son la volatilidad, grado de estacionalidad, energía instantánea y desviación estándar de la instantánea energía. La volatilidad es la medida obtenida de la suma de los componentes seleccionados del IMF; por lo tanto, es función del tiempo.

Se puede concluir en forma categórica que para el análisis armónico de este tipo de datos no estacionarios obtenidos del vehículo eléctrico la herramienta más completa y que brinda los mejores resultados es la Transformada de Hilbert-Huang.

## 9. Referencias

- [1] A. Gil-De-Castro, S. K. Rönnerberg, and M. H. J. Bollen, "A study about harmonic interaction between devices," *Proc. Int. Conf. Harmon. Qual. Power, ICHQP*, pp. 728–732, 2014.
- [2] J. A. Suárez, G. F. Di Mauro, and D. A. C. Agüero, "Análisis de la distorsión armónica y los efectos de atenuación y diversidad en áreas residenciales," vol. 3, no. 5, pp. 429–435, 2005.
- [3] A. Tejada and A. Llamas, "Efectos De Las Armónicas En Los Sistemas Eléctricos," *Power*, p. 8, 2010.
- [4] L. Biondi Neto, J. C. C. B. Soares de Mello, E. G. Gomes, and L. Angulo Meza, "Data Envelopment Analysis and Fourier Series Integrated Use: The Case of The Harmonic Distortion Evaluation," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 9, no. 1, pp. 810–816, 2011.
- [5] G. Abbatantuono, S. Bruno, M. La Scala, A. Naschetti, and U. Stecchi, "Harmonic distortion in low voltage isolated distribution grids," *EEEIC 2016 - Int. Conf. Environ. Electr. Eng.*, 2016.
- [6] X. Yuan *et al.*, "Analysis of Power Grid Harmonics with Wavelet Network," pp. 6052–6055, 2017.
- [7] R. S. Rani, C. S. Rao, and M. V. Kumar, "Analysis of active power filter for harmonic mitigation in distribution system," *Int. Conf. Electr. Electron. Optim. Tech. ICEEOT 2016*, pp. 1438–1446, 2016.
- [8] R. A. S. Fernandes, I. N. Silva, and M. Oleskovicz, "Data Mining Applied to Harmonic Current Sources Identification in Residential Consumers," *302 Ieee Lat. Am. Trans.*, vol. 9, no. 3, pp. 302–310, 2011.
- [9] R. Arghandeh, A. Onen, J. Jung, and R. P. Broadwater, "Harmonic interactions of multiple distributed energy resources in power distribution networks," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 105, pp. 124–133, 2013.
- [10] A. G. Córdova España, "Factibilidad para la integración de vehículos eléctricos al Sistema de Distribución Eléctrico," p. 131, 2015.
- [11] C. Melendez and W. Mora, "Adquisición de datos para el análisis de armónicos en sistemas eléctricos usando Labview," p. 97, 2011.
- [12] C. M. Ayala Criollo, "Modelación de la propagación de armónicos en Sistemas de Transmisión Eléctrica." p. 34, 2017.
- [13] M. Ortiz Garcia, "Adaptación y aplicación de la transformada de Hilbert-Huang a Sistemas Eléctricos: Aplicaciones en el Estudio de la Gestion de la DEMANDA y caracterización de transitorios," p. 332, 2016.
- [14] M. Brunoro, L. F. Encarnac, and J. Farias, "Modeling of loads dependent on harmonic voltages," vol. 152, pp. 367–376, 2017.
- [15] J. Cheng, "IEEE STD 519-2014 Harmonic Limits," *Engineer*, 2014.
- [16] R. J. C. Pinto, J. Pombo, and M. R. A. Calado, "An Electric Vehicle Charging Station: Monitoring and Analysis of Power Quality," no. Dc, pp. 37–42, 2015.

- [17] K. M. Alawasa and A. I. Al-odienat, "Harmonics Assessment and Analysis at Low Voltage Networks – Case Study : Mutah University Campus ( Engineering Building )," 2017.
- [18] Jiang Bo and Wang Jinhui, "Research on harmonic analysis of low voltage distribution networks and its monitoring system," *2016 IEEE Adv. Inf. Manag. Commun. Electron. Autom. Control Conf.*, pp. 1416–1420, 2016.
- [19] Agencia de Regulación y Control de Electricidad, "Regulación-No.-CONELEC-004-01-CALIDAD DEL SERVICIO ELECTRICO DE DISTRIBUCION." pp. 1–25, 2001.
- [20] M. A. De Armas, "Caracterización de los datos de medición de armónicos variables en el tiempo," vol. XXIX, no. 1, pp. 9–16, 2008.
- [21] V. R. Vergara Naranjo, "Óptima Gestión De La Demanda Para Estaciones De Recarga De Vehículos Eléctricos En Micro-Redes Inteligentes," *Universidad Politécnica Salesiana*. 2017.
- [22] K. H. Shafad, J. J. Jamian, and S. A. S. Nasir, "Harmonic distortion mitigation for multiple modes charging station via optimum passive filter design," *Proc. - 2016 IEEE Conf. Syst. Process Control. ICSPC 2016*, no. December, pp. 219–223, 2017.
- [23] Z. Pengxin, "Analysis of Electric Vehicles' Impact to the Electric Grid," *Csee-Conference.Org*, no. Ciced, pp. 5–6, 2012.
- [24] IEA International Energy Agency, "Global EV Outlook 2017: Two million and counting," *IEA Publ.*, pp. 1–71, 2017.
- [25] I. E. Agency, "Energy Efficiency 2017," 2017.
- [26] B. Benalcazar and M. Garcia, "Óptima Respuesta a La Demanda Para Estaciones De Carga De Vehículos Eléctricos Con Alta Incertidumbre Considerando El Perfil De Voltaje En La Red De Distribución." 2017.
- [27] F. Chancusig, "Análisis Técnico-Económico para la inserción de Vehículos Eléctricos en el Sistema Eléctrico Ecuatoriano.," *Statew. Agric. L. Use Baseline 2015*, vol. 1, 2015.
- [28] X. Xu *et al.*, "Evaluation of hybrid harmonic modelling techniques: Case study of harmonic interactions of EVs and CFLs," *IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. Eur.*, pp. 0–5, 2017.
- [29] J. Meyer, S. Müller, P. Schegner, S. Z. Djokic, A. J. Collin, and X. Xu, "Comparison of methods for modelling electric vehicle chargers for harmonic studies," *19th Power Syst. Comput. Conf. PSCC 2016*, 2016.
- [30] L. Kutt, E. Saarijärvi, M. Lehtonen, H. Mölder, and J. Niitsoo, "Electric vehicle charger load current harmonics variations due to supply voltage level differences-Case examples," *2014 Int. Symp. Power Electron. Electr. Drives, Autom. Motion, SPEEDAM 2014*, pp. 917–922, 2014.
- [31] A. R. Boynuegri, M. Uzunoglu, O. Erdinc, and E. Gokalp, "A new perspective in grid connection of electric vehicles: Different operating modes for

- elimination of energy quality problems,” *Appl. Energy*, vol. 132, pp. 435–451, 2014.
- [32] J. Martínez-Lao, F. G. Montoya, M. G. Montoya, and F. Manzano-Agugliaro, “Electric vehicles in Spain: An overview of charging systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 77, no. November 2016, pp. 970–983, 2017.
- [33] A. Dubey and S. Santoso, “Electric Vehicle Charging on Residential Distribution Systems: Impacts and Mitigations,” *IEEE Access*, vol. 3, no. c, pp. 1871–1893, 2015.
- [34] Y. Onal, O. N. Gerek, and D. G. Ece, “Detection of voltage flicker and voltage harmonic using Hilbert Huang Transform,” *16th Int. Power Electron. Motion Control Conf. Expo. PEMC 2014*, pp. 805–810, 2014.
- [35] A. Ramachandra, *HILBERT-HUANG TRANSFORM ANALYSIS OF HYDROLOGICAL AND ENVIRONMENTAL TIME SERIES*. 2008.
- [36] O. Ramos, “Diagnostico de Fallas en Motores de Induccion por MCSA utilizando la Transformada de Hilbert.” 2016.
- [37] A. Oña, “Desarrollo e implementación de un algoritmo para caracterización de parámetros de un electrocardiograma, utilizando la Transformada Hilbert,” p. 244, 2008.
- [38] K. Lugo, “Análisis lineal y no lineal para determinar daño en material cementico utilizando ultrasonido,” 2014.
- [39] W. L. Ai, H. Shareef, and A. A. Ibrahim, “A single monitor method for voltage sag source location using Hilbert Huang transform,” *10th Int. Power Energy Conf. IPEC 2012*, pp. 374–379, 2012.
- [40] W. Fu and Y. Zhu, “Harmonic and inter-harmonic signal analysis based on Hilbert-Huang transform,” *Proc. 2011 2nd Int. Conf. Digit. Manuf. Autom. ICDMA 2011*, vol. 1, no. 3, pp. 572–575, 2011.
- [41] P. Li, L. Fei, P. Xi, J. Jie, and J. Zhang, “HHT based on the LS-SVM and its application in the voltage flicker and harmonic detection of microgrid,” *DRPT 2011 - 2011 4th Int. Conf. Electr. Util. Deregul. Restruct. Power Technol.*, no. 50977029, pp. 1722–1726, 2011.
- [42] Fluke Corporation, “Fluke 434 / 435 Three Phase Power Quality Analyzer-Users Manual,” *Screen*, no. April, 2006.
- [43] R. SA, “Renault Twizy-Users Manual,” 2016.

## 9.1 Estado del Arte

Tabla 9: Matriz de estado del arte

INCIDENCIA DE LOS ARMONICOS EN LA RED DE DISTRIBUCION ELECTRICA CAUSADA POR LA INCLUSION DE VEHICULOS ELECTRICOS																												
ITEM	DATOS		TEMÁTICA								FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA							
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Carga de Vehículos Eléctricos	Índices de Evaluación Armónica	Interacción Armónica	Incidencia de los Armónicos	Sistemas de Distribución Eléctrica	Impacto en Redes de Distribución	Distorsión Armónica	Calidad de Energía Eléctrica	Afección en la red eléctrica por la carga de Vehículos Eléctricos	Maximizar Eficiencia Energética	Minimizar emisión de frecuencias múltiples de la fundamental	Minimización de costos de operación y mantenimiento	Minimizar efectos de cargas no lineales	Cargas en horas pico	Consumo de Energía	Crecimiento de la Demanda	Exceso de Cargas no Lineales	Analizar la Distorsión Armónica Total (THD)	Análisis frecuencia-tiempo	Identificar fuentes armónicas	Cancelación de Armónicos	Transformada de Hilbert	Transformada Wavelet	Análisis de Fourier	Análisis de carga de EV
1	2014	A study about harmonic interaction between devices	14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	2017	Review of harmonic analysis, modeling and mitigation techniques	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	2010	Efectos de las armónicas en los Sistemas Eléctricos	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	2011	Data Envelopment Analysis and Fourier Series Integrated Use The Case of The Harmonic Distortion Evaluation	5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	2016	Harmonic Distortion in Low Voltage Isolated Distribution Grids	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	2017	Analysis of Power Grid Harmonics with Wavelet Network	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	2016	Analysis of Active Power Filter for Harmonic Mitigation in Distribution System	4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	2011	Data Mining Applied to Harmonic Current Sources Identification in Residential Consumers	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	2013	Harmonic interactions of multiple distributed energy resources in power distribution networks	27	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	2015	Factibilidad para la integración de vehículos eléctricos al Sistema de Distribución Eléctrico	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	2012	Adquisición de datos para el análisis de armónicos en sistemas eléctricos usando Labview	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

12	2017	Modelación de la propagación de armónicos en Sistemas de Transmisión Eléctrica	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	2016	Adaptación y aplicación de la transformada de Hilbert-Huang a Sistemas Eléctricos: Aplicaciones en el Estudio de la Gestión de la DEMANDA y caracterización de transitorios	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
14	2017	Modeling of loads dependent on harmonic voltages	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	2006	Application of IEEE STD 519-1992 Harmonic Limits	104	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	2015	An Electric Vehicle Charging Station Monitoring and Analysis of Power Quality	4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17	2017	Harmonics Assessment and Analysis at Low Voltage Networks – Case Study Muthah University Campus (Engineering Building)	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18	2016	Research on Harmonic Analysis of Low Voltage Distribution Networks and its Monitoring System	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	2001	Regulacion-No.-CONELEC-004-01-Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20	2008	Caracterización de los datos de medición de armónicos variables en el tiempo	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21	2008	Fluke 434 / 435 Three Phase Power Quality Analyzer	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	2017	Óptima Gestión De La Demanda Para Estaciones De Recarga De Vehículos Eléctricos En Micro-Redes Inteligentes	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	2016	Harmonic Distortion Mitigation for Multiple Modes Charging Station via Optimum Passive Filter Design	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	2012	Analysis of Electric Vehicles Impact to the Electric Grid	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	2017	Global EV Outlook 2017: Two million and counting	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
26	2017	Energy Efficiency 2017	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
27	2017	Óptima Respuesta a La Demanda Para Estaciones De Carga De Vehículos Eléctricos Con Alta Certidumbre Considerando El Perfil De Voltaje En La Red De Distribución	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28	2014	Análisis Técnico-Económico para la inserción de Vehículos Eléctricos en el Sistema Eléctrico Ecuatoriano	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29	2016	Evaluation of Hybrid Harmonic Modelling Techniques Case Study of Harmonic Interactions of EVs and CFLs	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30	2016	Comparison of Methods for Modelling Electric Vehicle Chargers for Harmonic Studies	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

31	2014	Electric Vehicle Charger Load Current Harmonics Variations due to Supply Voltage Level Differences	1	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒		
32	2014	A new perspective in grid connection of electric vehicles Different operating modes for elimination of energy quality problems	15	☒	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	
33	2016	Electric vehicles in Spain An overview of charging systems	3	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	
34	2015	Electric Vehicle Charging on Residential Distribution Systems Impacts and Mitigations	25	☒	☒	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	
35	2017	Renault Twizy	0	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	
36	2014	Detection of voltage flicker and voltage harmonic using Hilbert Huang Transform	2	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☒	☐	☒	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒	
37	2016	Diagnóstico de Fallas en Motores de Inducción por MCSA utilizando la Transformada de Hilbert.	0	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	
38	2003	Desarrollo e implementación de un algoritmo para caracterización de parámetros de un electrocardiograma, utilizando la Transformada Hilbert	0	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	
39	2014	Análisis lineal y no lineal para determinar daño en material cementicio utilizando ultrasonido	0	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	
40	2015	Power quality disturbances monitoring using Hilbert-Huang transform and SVM classifier	1	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒
41	2012	A Single Monitor Method for Voltage Sag Source Location using Hilbert Huang Transform	5	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	
42	2011	Harmonic and inter-harmonic signal analysis based on Hilbert-Huang transform	2	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒
43	2015	HHT based on the LS-SVM and its application in the voltage flicker and harmonic detection of microgrid	0	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒
CANTIDAD:				16	17	11	30	23	34	23	37	15	38	11	24	20	19	27	17	19	19	14	19	12	9	2	5	17	18

Tabla 10: Resumen e indicadores del estado del arte

