



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y
COMPUTACIÓN

“ESTUDIO DEL IMPACTO ELÉCTRICO EN LA RED DE MEDIA
TENSIÓN POR INGRESO DE AUTOS ELÉCTRICOS EN EL
ALIMENTADOR 1 DE LA POBLACIÓN SAN CRISTÓBAL”

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN
POTENCIA

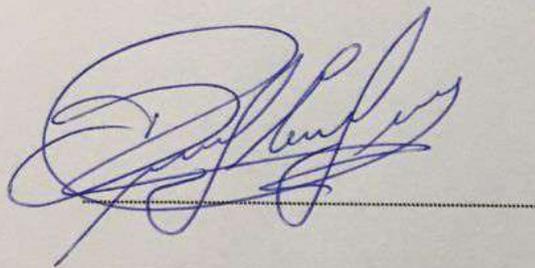
DIEGO DOUGLAS CANALES OLAYA

FRANCISCO XAVIER DAZA TITUANA

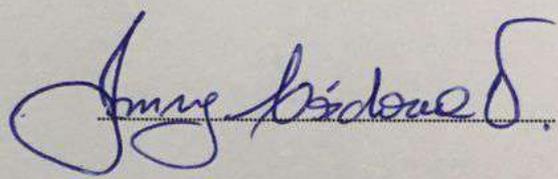
GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



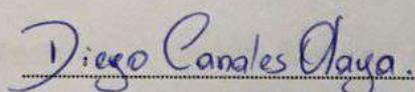
MSc. Iván Endara Vélez
PROFESOR EVALUADOR



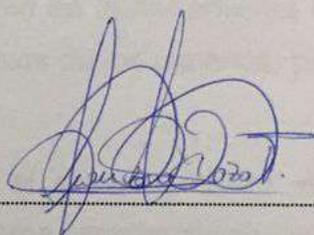
MSc. Jimmy Córdova Villagomez
PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Diego Canales Olaya



Francisco Daza Tituana

RESUMEN

El presente estudio se centra en el análisis del comportamiento eléctrico de la red San Cristóbal-Galápagos, específicamente el Alimentador Norte (1), con el ingreso de vehículos eléctricos al sistema.

Se generan los perfiles de carga de usuarios residenciales, comerciales e industriales así como también las curvas de carga por transformador conectados a la red y las curvas de demanda totales para los tres alimentadores que salen del parque generador de la isla, tomando en cuenta el ingreso de vehículos eléctricos a diversos niveles de penetración, todo esto bajo una estimación que toma como base las mediciones históricas de cada alimentador.

Para la correcta estimación se desarrolla un algoritmo en la herramienta computacional Matlab, teniendo en cuenta índices de comportamientos de los usuarios, particularizando el uso de vehículos residenciales y vehículos tipo taxi.

Mediante la librería Simulink de Matlab se simuló el comportamiento eléctrico de un vehículo del tipo Nissan Leaf y Kia Soul EV con similares características, para conocer los niveles de distorsión producidos durante la carga del paquete de baterías de un EV en el sistema de baja tensión.

Para conocer las características eléctricas del sistema para los distintos casos de estudio, se utilizó el software CYME, el cual permite hacer un completo estudio de flujo de carga, para un punto de carga específico o un análisis de tipo dinámico a lo largo de un día.

Además, mediante CYME también se realizó el estudio de armónico en la red San Cristóbal para un transformador específico en baja tensión, en distintas situaciones de trabajo con la finalidad de parametrizar de forma correcta filtros que mejoren la calidad de energía servida en el sistema.

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	I
DECLARACIÓN EXPRESA	II
RESUMEN.....	III
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. IMPACTO DE LA CARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA DEMANDA DEL SISTEMA	2
1.2. AVANCE ACELERADO DE LAS TECNOLOGÍAS DE PROPULSIÓN ALTERNATIVAS.....	2
1.3. EL SISTEMA ELÉCTRICO SAN CRISTÓBAL Y LA NUEVA MOVILIDAD ELÉCTRICA	2
1.4. JUSTIFICACIÓN	3
1.5. ALCANCE	4
1.6. OBJETIVO GENERAL	5
1.7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.8. MARCO TEÓRICO.....	5
1.8.1. TECNOLOGÍAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS ENCHUFABLES.....	5
1.8.2. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.	7
1.8.3. IMPACTO DE LA CARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN.	8
1.8.4. MODELO DE VEHÍCULO ELÉCTRICO.....	9
1.8.5. IEEE STD. 519-2014, “PRÁCTICAS Y REQUISITOS RECOMENDADOS POR IEEE PARA EL CONTROL DE ARMÓNICOS EN SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA”	10
1.8.6. CALIDAD DE LA POTENCIA Y PRESENCIA DE ARMÓNICOS CON EL INGRESO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (EV) A UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	11
CAPÍTULO 2.....	13
METODOLOGÍA.....	13
2. RED ELÉCTRICA SAN CRISTÓBAL.....	13
2.1. DEMANDA	15
2.2. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA RED ELÉCTRICA SAN CRISTÓBAL.	15
2.2.1. TRANSFORMADORES.....	17
2.2.2. ESTIMACIÓN DE LA CARGA	17
2.2.3. ESTIMACIÓN DE LA CARGA POR USUARIO	18
2.2.4. ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.....	20
2.2.4.1. ESTIMACIÓN DE LA CARGA POR TAXIS.....	20
2.2.4.1.1. TAXIS, SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA CURVA DE CARGA.	21
2.2.4.1.2. PROCEDIMIENTO Y CONSIDERACIONES PARA LA SIMULACIÓN DE MONTE CARLO.....	22
2.2.4.2. ESTIMACIÓN DE LA CARGA PARA VEHÍCULOS RESIDENCIALES	23
2.3. MODELO DE SIMULACIÓN PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO	24
2.3.1. CONVERTIDOR BUCK BOOST (DC-DC).....	25
2.3.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL CONVERTIDOR DC-DC TIPO BUCK BOOST	26
2.3.3. MODELO DE BATERÍA	27
2.3.4. CARGA DE LA BATERÍA.....	27
2.4. ESTUDIO DE CARGA ACTUAL DEL ALIMENTADOR NORTE DE LA ISLA SAN CRISTÓBAL.	28
2.5. ESTUDIO DE CARGA CON EL INGRESO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS DEL ALIMENTADOR NORTE DE LA ISLA SAN CRISTÓBAL.	29
2.5.1. CASO DE ESTUDIO, PENETRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	30

2.6.	ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN LA RED SAN CRISTÓBAL.....	30
2.6.1.	CONTENIDO DE ARMÓNICOS EN LAS CORRIENTES POR LAS CARGAS DE EV	31
2.6.2.	LÍMITES DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE.	31
2.6.3.	LÍMITES DE DISTORSIÓN EN VOLTAJE.	32
2.6.4.	DISEÑO DE FILTROS PASIVOS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.	33
2.6.4.1.	CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE UN FILTRO SINTONIZADO SIMPLE.....	33
CAPÍTULO 3.....		36
3.	CARGA SAN CRISTOBAL ALIMENTADOR NORTE.....	36
3.1.	DEMANDA ACTUAL SIN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.....	36
3.2.	FLUJO DE CARGA, ALIMENTADOR NORTE DE LA RED SAN CRISTÓBAL SIN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.	38
3.2.1.	GENERACIÓN.....	38
3.2.2.	TRANSFORMADORES.....	39
3.2.3.	NIVELES DE TENSIÓN Y CORRIENTE	40
3.3.	ANÁLISIS DE CARGABILIDAD DE LA RED ELÉCTRICA SAN CRISTÓBAL CON LA PENETRACIÓN AL 20% DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.	41
3.3.1.	DEMANDA DE USUARIOS POR TRANSFORMADOR PARA ALIMENTADOR NORTE.....	41
3.3.2.	DEMANDA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (EV).....	41
3.3.2.1.	ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE VEHÍCULOS RESIDENCIALES CONECTADOS A LA RED. 41	
3.3.2.2.	ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS TIPO TAXI CONECTADOS A LA RED. 42	
3.3.3.	ESTIMACIÓN DEL PERFIL DE CARGA PARA EL ALIMENTADOR NORTE.	44
3.3.4.	ESTIMACIÓN DEL PERFIL DE CARGA PARA LOS ALIMENTADORES SUR Y ZONA RURAL. 45	
3.3.5.	FLUJO DE CARGA PARA LA RED SAN CRISTÓBAL CON 20% DE PENETRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.....	46
3.3.5.1.	GENERACIÓN	47
3.3.5.2.	TRANSFORMADORES	48
3.3.5.3.	NIVELES DE TENSIÓN Y CORRIENTE.....	49
3.4.	ANÁLISIS DE CARGABILIDAD DE LA RED ELÉCTRICA SAN CRISTÓBAL CON LA PENETRACIÓN AL 80% DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.	51
3.4.1.	DEMANDA DE USUARIOS PARA TRANSFORMADORES EN ALIMENTADOR NORTE.	51
3.4.2.	DEMANDA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (EV).....	52
3.4.2.1.	ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE VEHÍCULOS RESIDENCIALES CONECTADOS A LA RED. 52	
3.4.2.2.	ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS TIPO TAXI CONECTADOS A LA RED. 53	
3.4.3.	ESTIMACIÓN DEL PERFIL DE CARGA PARA EL ALIMENTADOR NORTE.	54
3.4.4.	ESTIMACIÓN DEL PERFIL DE CARGA PARA LOS ALIMENTADORES SUR Y ZONA RURAL. 55	
3.4.5.	FLUJO DE CARGA RED SAN CRISTÓBAL CON 80% DE PENETRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.	55
3.4.5.1.	GENERACIÓN	56
3.4.5.2.	TRANSFORMADORES	57
3.4.5.3.	NIVELES DE TENSIÓN Y CORRIENTE.....	58

3.5. ANÁLISIS DE CARGABILIDAD DE LA RED ELÉCTRICA SAN CRISTÓBAL CON LA PENETRACIÓN AL 100% DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.	60
3.5.1. DEMANDA DE USUARIOS PARA TRANSFORMADORES EN ALIMENTADOR NORTE.	60
3.5.2. DEMANDA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (EV).....	60
3.5.2.1. ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE VEHÍCULOS RESIDENCIALES CONECTADOS A LA RED.	60
3.5.2.2. ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS TIPO TAXI CONECTADOS A LA RED, ALIMENTADOR NORTE.	61
3.5.3. ESTIMACIÓN DEL PERFIL DE CARGA PARA EL ALIMENTADOR NORTE.	63
3.5.4. ESTIMACIÓN DEL PERFIL DE CARGA PARA LOS ALIMENTADORES SUR Y ZONA RURAL.	63
3.5.5. FLUJO DE CARGA PARA LA RED SAN CRISTÓBAL CON 100% DE PENETRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.	64
3.5.5.1. GENERACIÓN	65
3.5.5.2. TRANSFORMADORES	66
3.5.5.3. NIVELES DE TENSIÓN Y CORRIENTE.....	67
3.6. RESPUESTA DEL MODELO DE SIMULACIÓN PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO (EV)	69
3.7. IMPACTO DE ARMÓNICOS EN LA RED SAN CRISTÓBAL DE BAJA TENSIÓN POR INGRESO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (EV).	72
3.7.1. EVALUACIÓN EN BAJA TENSIÓN, VARIANDO EL NÚMERO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CONECTADOS A LA RED.	72
3.7.2. DISEÑO DE FILTRO DE ARMÓNICOS SINTONIZADO SIMPLE PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO.	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA.....	82
ANEXO 1	84
ANEXO 2.....	91
ANEXO 3.....	93

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Producto de las grandes emisiones de CO_2 al medio ambiente por parte de los autos convencionales, en gran parte de los países desarrollados y en vías de desarrollo se está considerando el uso de autos eléctricos, cuya característica principal es la eliminación total de las emisiones de contaminantes excesivos. Al ingresar el tema de autos eléctricos, se anexan varios beneficios y a la vez inconvenientes, que hacen que se cree un conjunto de hipótesis en busca de afirmaciones.

En la actualidad esta problemática se presenta en la región insular Galápagos-Ecuador específicamente en la isla San Cristóbal.

Empresas pioneras en la creación de vehículos eléctricos comenzaron a gestionar el ingreso de su producto a esta región de Ecuador; en mayo del 2016 la empresa Renault donó uno de sus vehículos eléctricos a las autoridades para dar inicio a una nueva era en el manejo de las energías renovables.

Se busca con esto la reducción del consumo de derivados del petróleo y disminuir los riesgos ambientales que producen el transporte de esto desde el continente hasta el archipiélago.

Aunque parezca una temática relativamente nueva, en países desarrollados como U.S.A se presentan avances de gran magnitud en las redes de distribución para soportar el ingreso de autos eléctricos en su sistema, incluyendo centros para la carga masiva de vehículos (electrolineras) en puntos específicos. Esto da una cobertura total al uso de este tipo de autos a lo largo del país.

Es importante tener en cuenta todos los aspectos técnicos que esto implica, entre los principales, el de conocer si la generación existente es capaz de abastecer a la carga de los autos eléctricos que generalmente se presenta con más atenuación en las horas pico. En San Cristóbal el 70% de la generación es térmica y el 30% eólica, por lo que la presencia de parques eólicos reduce el consumo de millones de galones de diésel y la reducción de dióxido de carbono al ambiente en gran magnitud.

El ingreso de autos eléctricos al sistema eléctrico de San Cristóbal, llevará consigo problemas iniciales en la red, los cuales se presentan como caídas o subidas excesivas de voltaje, ingreso de armónicos al sistema, picos de corriente que pueden causar daños

en otros equipos conectados al mismo sistema. Por estos motivos es necesario realizar un estudio total conociendo las principales características de la red de distribución, para poder buscar soluciones rápidas y eficaces ante el manejo del sistema de potencia que se presentará.

1.1. Impacto de la carga de vehículos eléctricos en la demanda del sistema

La carga necesaria en un auto eléctrico se establece dependiendo de la distancia a recorrer. En este ámbito se realizan diversos estudios de tipo determinístico para establecer los niveles de energía que pueden ser entregados a través del sistema de distribución, y suministrados por el sistema de generación en San Cristóbal.

La variación en la curva de carga por el ingreso de un vehículo eléctrico depende del tiempo de conectividad de este a la red y la disponibilidad del sistema en general. El análisis en conjunto servirá para crear los diversos modelos y un control adecuado hacia la integración total de sistema y su automatización. [1]

1.2. Avance acelerado de las tecnologías de propulsión alternativas

Las políticas de gobierno actuales en varios países se están orientando a mejorar las tecnologías de propulsión, con la finalidad de reducir el consumo de combustibles fósiles que aumenten las emisiones de gases contaminantes al ambiente, se espera un cambio mayoritario en el parque automotor, reemplazando los vehículos con motores de combustión interna por vehículos eléctricos con nuevas tecnologías.

Actualmente, se desarrollan tres líneas de propulsión alternativas, como son: combustibles alternativos, vehículos de aire comprimidos y motores eléctricos (vehículos eléctricos de baterías, híbridos y celdas de combustible).

Los vehículos eléctricos han surgido como una alternativa alentadora que usa electricidad para reemplazar una parte importante del consumo de combustibles fósiles por parte de la población vehicular [2], [3].

1.3. El sistema eléctrico San Cristóbal y la nueva movilidad eléctrica

¿Cuál es la realidad del sistema eléctrico en la isla San Cristóbal-Galápagos?, y ¿Qué capacidad tiene de asumir nuevas cargas? Para responder a esta interrogante es necesario analizar el impacto y evaluar la respuesta de la red

eléctrica, teniendo en cuenta un incremento considerable en el uso de vehículos eléctricos. De esta manera poder determinar si el sistema es capaz suministrar la energía necesaria para la recarga regular de los vehículos eléctricos.

1.4. Justificación

Los sistemas eléctricos de potencia están propensos a cambios frecuentes, estos pueden alterar de una u otra forma su configuración y características que resultan de las variaciones de carga diferentes a las planificadas en la etapa inicial del sistema. La hipótesis principal será conocer cuál es la respuesta que brinda el sistema eléctrico de la isla San Cristóbal ante el incremento de este tipo de carga en el transcurso del tiempo, por supuesto en conjunto deben ser analizados los beneficios y contras del nuevo sistema.

La reducción del transporte de derivados de petróleo hacia el archipiélago de Galápagos es un aspecto importante para que los autos eléctricos se conviertan en una alternativa de transporte en reemplazo a los autos convencionales y por ende de hacer uso mayoritario de energías renovables. Pero la afirmación de que se trata de una idea viable especialmente en un territorio no continental, donde la generación eléctrica aun es limitada pone en tela de duda el ingreso de los vehículos eléctricos a la red, particularmente al sistema Eléctrico de San Cristóbal.

Existe una gran tendencia y cambio constante de precios de derivados del petróleo, ocasionando que las autoridades pertinentes ejecuten políticas para controlar en gran parte el consumo de estas energías [1]. Sumada a la problemática del calentamiento global es una de las causas para que exista una gran adopción de vehículos eléctricos (Electric Vehicle EV). Ante este ingreso de EV, mantenerse con la entrega de energía eléctrica de calidad se vuelve un nuevo reto, es de ahí de donde partimos este estudio, un análisis exhaustivo de un sistema de potencia como el de San Cristóbal y una posterior búsqueda de mejoras y soluciones.

De manera consecuente, encontrar indicadores que nos muestren el estado actual del sistema servirá para asentar las bases de un análisis mucho más preciso que considere la planificación y confiabilidad que requiere un sistema de potencia con las características mencionadas.

1.5. Alcance

La finalidad del presente proyecto es analizar el impacto de los autos eléctricos en un sistema de distribución en media tensión, para ello a lo largo del mismo se debe definir previamente varios componentes, criterios y condiciones que permitan llevar a cabo el estudio.

Se deberá obtener modelos de baterías y convertidores ya sean AC/DC y DC/DC que se ajusten a las características reales de operación del componente eléctrico de los vehículos eléctricos. Debido a que el proyecto está enfocado en analizar el impacto que los autos eléctricos provocan en la red de distribución eléctrica, no se modelará el vehículo más allá de su sistema eléctrico.

Con la finalidad de conocer cómo se comportan los usuarios de vehículos se definirán índices de hábito diarios vehiculares de cada uno de los hogares, estimando horas de carga de vehículos eléctricos, distancias recorridas y horas en los que el vehículo permanece detenido ya sea fuera de casa o en casa, considerando además una diversidad vehicular. Toda esta información se obtendrá en base a un estudio de satisfacción a usuarios de vehículos, y estos parámetros se determinarán de manera aleatoria para cada uno de los usuarios, en función de un análisis estadístico usando Matlab.

Para el presente estudio se cuenta con información del sistema eléctrico de San Cristóbal del cual se seleccionará los datos de la zona donde se realizará el estudio. La información que se busca en esta parte corresponde a las curvas de carga históricas de los hogares que forman parte del sector de análisis, la generación total existente, y la capacidad del sistema de distribución de San Cristóbal.

Una vez que se obtenga la curva de carga diaria de los hogares de la sección del sistema de distribución de San Cristóbal, se modificara la misma con la nueva demanda adicional que representa el tener que cargar las baterías de los vehículos eléctricos.

Realizar un análisis de cargabilidad, caídas de voltaje en la red, y determinar el contenido de armónicos en el sistema de distribución eléctrico de San Cristóbal antes de la entrada de los autos eléctricos y posteriormente con el ingreso de los

mismos, utilizando el software CYME, para posteriormente comparar los resultados con el estado actual.

Evaluar la capacidad del sistema eléctrico de San Cristóbal, recomendar soluciones efectivas, y establecer normativas de horarios de carga de los vehículos eléctricos en caso de ser necesarias para la operación del sistema.

1.6. Objetivo General

El presente proyecto tiene como objetivo analizar el impacto en el sistema eléctrico en media tensión del sector Norte de San Cristóbal-Galápagos, considerando el cambio creciente del uso de autos convencionales (motor de combustión interna) a vehículos eléctricos y ofrecer la solución más apropiada.

1.7. Objetivos Específicos

- Desarrollo de un algoritmo para estimar el comportamiento de las curvas de carga de usuarios con el ingreso de vehículos tipo residenciales y taxis a la red.
- Analizar el perfil de carga esperado con el ingreso de vehículos eléctricos, definiendo índices de comportamiento de usuario de vehículos.
- Simulación del sistema eléctrico de San Cristóbal en CYME
- Realizar un estudio de cargabilidad, contenido de armónicos, caídas de voltaje de la red de distribución con el ingreso de vehículos eléctricos.

1.8. Marco Teórico

1.8.1. Tecnologías de vehículos eléctricos enchufables

En la actualidad existen en diferentes etapas en desarrollo tres líneas principales de propulsión alternativa: 1. Los combustibles alternativos en los motores de combustión interna, 2. Los motores eléctricos que agrupan a los vehículos eléctricos de batería, los híbridos y los vehículos eléctricos de pilas o celda de combustible, 3. Los vehículos de aire comprimido. [2]

Entre los diferentes tipos de vehículos eléctricos híbridos y eléctricos puros una distinción general se basa en su capacidad de conectarse a la red, por lo tanto en este trabajo se despreciará a los vehículos que no son enchufables. [3]

Los primeros vehículos eléctricos fueron construidos durante el siglo XIX después del desarrollo de las baterías de plomo ácido, sumándose a estas investigaciones en baterías de hierro-níquel y níquel-zinc, y el desarrollo de los procesos de recarga en la población de vehículos eléctricos.

Basándose en las diferentes infraestructuras de carga, se definen tres tipos el Nivel I, Nivel II, y Nivel III, correspondientes a los tipos de carga normal, media y alta respectivamente, esto es el tiempo que toma recargar la energía de la batería, y el nivel de corriente que se requiere. Podemos definir estrategias de carga, y analizar los efectos en las infraestructuras al alcanzar cualquiera de los niveles de corriente de carga y la implementación de los cargadores de baterías para vehículos eléctricos. [4]

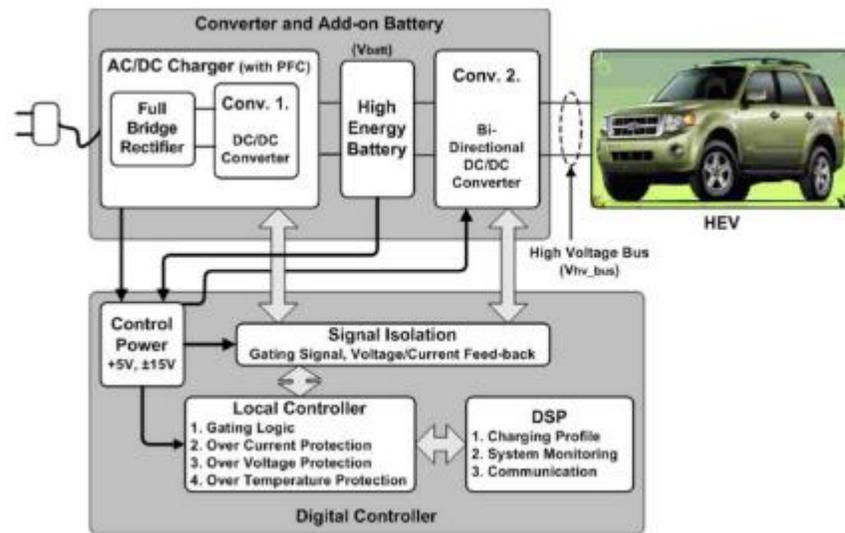


Figura 1.1. Conversión y batería añadida en un PHEV.

Se muestra una configuración de un convertidor para PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicles), un convertidor AC/DC para la toma de energía de la red, dos convertidores DC/DC, en el cual uno de ellos es bidireccional, y un controlador digital, en el cual se esquematiza el funcionamiento de un vehículo eléctrico. Incorporando un análisis de estrategias de manejo de energía usando el controlador digital, este análisis nos servirá para establecer un criterio de manejo eficiente de la energía, para ser implementado en nuestro estudio. [5]

1.8.2. Sistemas de almacenamiento de energía.

La aplicación de baterías está aumentando rápidamente en cada aspecto de la vida y es sólo una cuestión de tiempo hasta que el número de vehículos eléctricos híbridos, coches con extensores o incluso coches eléctricos puros superen el número de coches con potencia convencional. De esta manera cuantas más aplicaciones surgen mayor es la necesidad de baterías potentes que conduce directamente a la tecnología de iones de litio (li-ion).

La simulación de la batería es una técnica comúnmente utilizada para reducir los costes y el tiempo durante el proceso de diseño y desarrollo, especialmente para los vehículos eléctricos. Normalmente es mucho más barato realizar pruebas virtuales, ya que no se requieren equipos de prueba y medición costosos, y es posible el uso paralelo del mismo modelo de simulación al mismo tiempo en diferentes estaciones de trabajo.

La aplicación de modelos de baterías pueden ser implementados en el sistema de gestión de baterías (BMS) de un EV. Los modelos y su parametrización deben ser lo más sencillos posibles, por un lado, y lo más preciso posible, por otro. Si se implementa un modelo de batería específico, podría usarse, por ejemplo, para prever el rango del EV con el estado actual de carga (SOC).

Se muestran tres modelos de baterías eléctricas de uso común, los componentes del modelo son los siguientes:

- 1) OCV el voltaje de circuito abierto;
- 2) R_s la resistencia de los contactos, los electrodos así como también electrolito;
- 3) R_d , R_{d1} , R_{d2} , C_d , C_{d1} , C_{d2} , que caracterizan la respuesta de transitorio de los electrodos de la célula de la batería. [6]

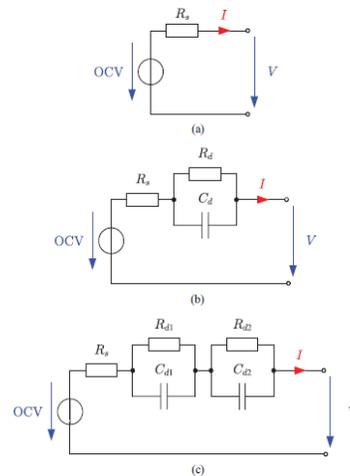


Figura 1. 2. a) Batería eléctrica básica con una resistencia; b) Batería con una resistencia y combinación RC; c) Batería con una resistencia y dos combinaciones RC.

1.8.3. Impacto de la carga de vehículos eléctricos en una red de distribución.

El ingreso de vehículos eléctricos representa un vasto análisis de la carga que estos poseen, según su normativa de trabajo, en conjunto con la capacidad que tienen los elementos que conforman una red de distribución en el casco urbano o rural de una ciudad.

La constante evolución en la tecnología de vehículos eléctricos y la apertura del mercado automotor a la adopción de este nuevo tipo de autos, lleva consigo a pensar si este incremento de carga eléctrica, drástica en cierta forma, genera problemas en un sistema de distribución cualquiera.

El mayor impacto dentro de una red por EV debe ser analizado en el peor de los casos, es decir, cuando se presente el mayor pico de consumo diario por parte de los usuarios, y la consideración de una penetración del 100% de EV dentro del sistema en estudio.

El tipo de vehículo a ser considerado posee un papel importante dentro de un análisis de este tipo, el tamaño de la carga que estos utilizan incrementará o disminuirá el estrés hacia los elementos principales de la red, como alimentadoras o transformadores.

Al tener en cuenta todas las consideraciones mencionadas, desde este punto es necesario establecer niveles a los cuales se pueden mantener estándares de estabilidad, cargabilidad y confiabilidad aceptables.

El estudio del impacto de la carga de EV en un sistema de distribución es importante porque sirve de partida para la planeación y operación futura de la red. Es posible que se requiera mejorar la infraestructura de las redes de distribución de energía para dar cabida a la gran proliferación de vehículos eléctricos. El primer paso, sin embargo, es una comprensión completa del impacto de la carga por EV en la operación de la red de distribución. [7]

1.8.4. Modelo de vehículo eléctrico

La arquitectura del sistema de conversión de potencia del EV puede ser considerado como se muestra de forma detallada en la Figura 1-4 incluye un banco de baterías conectado a un bus dc a través de un convertidor dc-dc bidireccional y un VSI (voltage source inverter) que sirve de interfaz al sistema de corriente alterna.

La batería puede ser modelada a través de un equivalente Thévenin incluyendo su comportamiento transitorio. Los parámetros de la batería tienen que ser considerados dependiendo de las características.

El convertidor dc-dc bidireccional regula los procesos de carga y descarga de la batería. La red de corriente alterna es modelada por una fuente de voltaje ideal detrás de una impedancia, y puede corresponder a una red monofásica o trifásica.

El EV puede conectarse a la red eléctrica en una toma doméstica o en una estación de carga, lo que lleva a modos de funcionamiento de carga monofásica o trifásica, respectivamente. En cualquier caso habrá un dispositivo de medición que proporcionará la señal de voltaje de red para el control EV. También se ilustra como el VSI se conecta a la red a través de un filtro LCL estándar para cumplir con los requisitos de calidad de alimentación. [8]

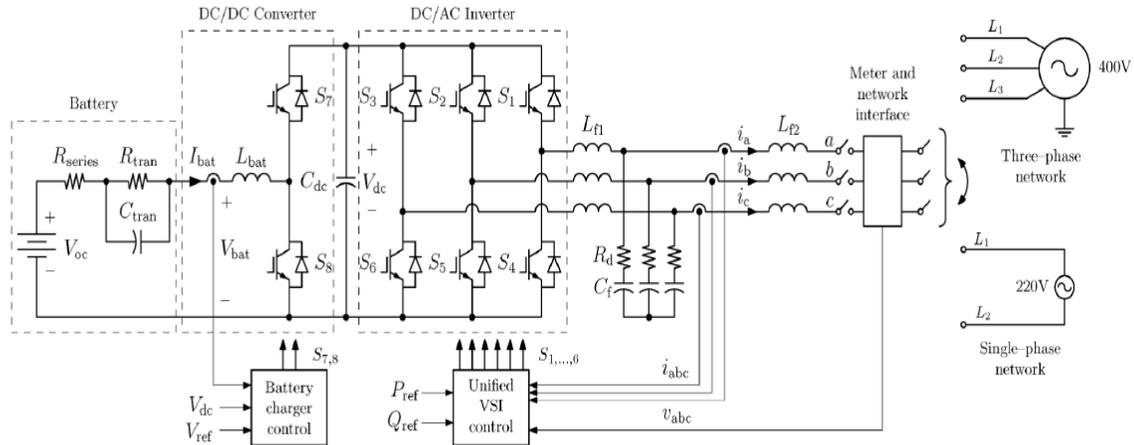


Figura 1.3. Esquema de circuito el sistema de vehículo eléctrico unificado conectado a la red.

1.8.5. IEEE Std. 519-2014, “Prácticas y Requisitos recomendados por IEEE para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica”.

El uso de cargas no lineales conectadas a sistemas de energía eléctrica incluye convertidores estáticos de energía, dispositivos de descarga de arco, dispositivos magnéticos saturados y, en menor grado, máquinas giratorias. Los convertidores estáticos de energía eléctrica son las mayores cargas no lineales y se utilizan en la industria para una variedad de propósitos, tales como fuentes de alimentación electroquímicas, accionamientos de velocidad ajustable y fuentes de alimentación ininterrumpidas.

Las cargas no lineales cambian la naturaleza sinusoidal de la corriente alterna (y consecuentemente la onda de voltaje), dando como resultado el flujo de corrientes armónicas en el sistema de potencia de corriente alterna que puede causar interferencia con circuitos de comunicación y otros tipos de equipo. Estas corrientes armónicas también conducen a mayores pérdidas y calentamiento en numerosos dispositivos electromagnéticos (motores, transformadores, etc.).

Esta práctica recomendada debe aplicarse en los puntos de interfaz entre los propietarios del sistema o los operadores y usuarios del sistema de energía. Los límites de esta práctica recomendada están destinados a la aplicación en un punto de acoplamiento común (PCC) entre el operador del

sistema y un usuario; donde el PCC suele ser tomado como punto en el sistema de energía más cercano al usuario donde el operador del sistema podría ofrecer servicio a otro usuario. Frecuentemente para el servicio a usuarios industriales (es decir, plantas de fabricación) a través de un transformador de servicio dedicado, el PCC está en el lado HV del transformador. Para los usuarios comerciales (parques de oficinas, centros comerciales, etc.) suministrados a través de un transformador de servicio común, el PCC está normalmente en el lado LV del transformador de servicio. [9]

Esta práctica recomendada debe ser usada como guía en el diseño de sistemas de energía con cargas no lineales. Los límites establecidos son para el funcionamiento en estado estacionario y se recomiendan para las condiciones de "peor caso". Pueden encontrarse condiciones transitorias que superen estos límites. En cualquier caso, los valores límite dados en este documento son recomendaciones y no deben considerarse vinculantes en todos los casos. [9]

1.8.6. Calidad de la Potencia y presencia de armónicos con el ingreso de vehículos eléctricos (EV) a un sistema de distribución.

La proliferación e incremento de vehículos eléctricos (EV) en los sistemas de potencia, al ser dispositivos con elementos no lineales, aumentan el porcentaje de distorsión armónica existente en las ondas de voltaje (medio y bajo voltaje) y corrientes que alimentan a las cargas conectadas al sistema.

El estado de carga a la cual un EV se encuentra, produce diferentes niveles de distorsión armónica al sistema, y por ende el impacto producido en la red tendrá variaciones evidentes.

La calidad de la potencia suministrada puede ser analizada bajo distintos casos de estudio, y correlacionados con los diversos sectores y tipos de carga existentes, como residenciales, comerciales o industriales.

En "*Harmonic Analysis of Electric Vehicle Loadings on Distribution System*" [10], el método presentado para analizar el total de distorsión armónica en una red de distribución considera un contraste de las características

presentadas de Total de Distorsión Armónica (THD) para el instante transiente cuando los vehículos son conectados a la red, el transiente cuando los vehículos son desconectados y la consideración del proceso de carga en estado estable.

Por otro lado, también se presenta un seccionamiento del sistema de distribución en dos zonas para ejecutar el análisis de armónicos, la primera posee cargas netamente industriales y la segunda zona únicamente cargas de tipo residencial. Se nota una diferenciación en lo que respecta a la cargabilidad de los transformadores y la calidad del servicio al resto de usuarios que no poseen vehículos eléctricos conectados al sistema en el espacio de tiempo donde se realiza el análisis.

En contraste en *“Power Quality of Smart Grids with Plug-in Electric Vehicles Considering Battery Charging Profile”* [11], centra su análisis en dos puntos distintos de penetración de vehículos eléctricos, para de esta manera mostrar la diferencia del total de distorsión armónica (THD) que se puede presentar ante una baja y una alta presencia de vehículos eléctricos conectados al sistema.

Ambos conceptos pueden ser aplicados para la búsqueda de respuestas y mejoras en un sistema de potencia, ante la presencia de niveles de armónicos mayores a los establecidos por el estándar vigente [9].

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

2. RED ELÉCTRICA SAN CRISTÓBAL

ELECGALÁPAGOS S.A. es la empresa encargada de proveer el servicio de energía eléctrica en toda la provincia de Galápagos, y de velar por el cumplimiento de leyes, normas, regulaciones y reglamentos estipulados por el Consejo Nacional de Electricidad de la República del Ecuador (CONELEC).

El parque generador de ELECGALÁPAGOS S.A. en la provincia de Galápagos está conformado de acuerdo con la tabla a continuación Tabla 2.1.

Tipo de Central	Tipo de Combustible	Capacidad Instalada (MW)
Térmica	Diesel	13.09
Térmica	Aceite de Piñon	0.14
Eólica	-----	2.4
		Total 15.63

Tabla 2. 1. Total de Capacidad Instalada en Galápagos

Se puede observar que el 84 % del total de generación en el archipiélago Galápagos proviene de unidades de generación térmica, que funcionan a través de combustibles fósiles (diésel). Tan solo el 15 % de la capacidad total es generada a partir de unidades que usan energías renovables para su funcionamiento, como energía eólica.

El presente estudio se centrará específicamente en analizar el comportamiento de la red eléctrica de la isla San Cristóbal, esta red posee tres alimentadores principales. El estudio estará enfocado principalmente en el alimentador 1 o Alimentador Norte, como lo llamaremos de ahora en adelante.

La red eléctrica de distribución en esta zona se encuentra en crecimiento a partir de los últimos años, pero uno de los problemas radica en que el sistema no ha sido

repotenciado en su totalidad, por esta razón existen frecuentes problemas de continuidad y calidad del servicio.

La isla San Cristóbal posee su propio parque generador, y abastece energía eléctrica suficiente a toda la isla. La información que se presentará a continuación en la Tabla 2.2, son datos de la red eléctrica de San Cristóbal obtenidos en el año 2012.

Isla	Clientes Regulados	Equipos de Generación	Potencia Nominal (MW)
San Cristóbal	2838	4 Genset	3.05
		3 Aerogeneradores	2.4
		Potencia Total (MW)	5.45

Tabla 2. 2. Capacidad Generación Eléctrica en la isla San Cristóbal.

De acuerdo a la Tabla 2.2., el parque generador de la isla consta con un 57% de energía eléctrica generada a través de unidades térmicas, mientras que el 43 % del total de generación se da a partir de aerogeneradores.

La isla San Cristóbal posee un total de capacidad de generación instalada de 5.45 MW. Esto con el fin de abastecer a un total de 2838 clientes regulados por la empresa eléctrica Galápagos.

A continuación, se detallan las características de las unidades de generación térmica existentes en San Cristóbal Tabla 2.3:

Central	Marca	Modelo	Año de Fabricación	Potencia		Rendimiento (kWh/galón)
				Nominal (kW)	Efectiva (kW)	
San Cristóbal	Caterpillar	3512 DITA	1990	650	520	9.79
	Caterpillar	3513 DITA	1990	650	520	9.8
	Caterpillar	3514 DITA	1990	650	520	9.36
	Caterpillar	3408	1981	310	160	7.8
	Caterpillar	3516	2011	1100	880	12.85

Tabla 2. 3. Unidades Térmicas del parque generador San Cristóbal-Galápagos.

La generación térmica en la isla puede variar según las características de viento que se presenten en las distintas épocas del año, esto sería un factor a considerar en el

incremento del parque eólico o en el ingreso de paneles fotovoltaicos. Por ejemplo, “En el año 2012 en San Cristóbal se registró un aumento en producción de energía térmica del 28.72% respecto al año 2011, dada la falta de viento, la producción de energía proveniente del recurso eólico, tuvo una disminución del 28.29%; en cuanto a consumo de combustible esta tuvo un incremento del 30.85%.” [12]

2.1. Demanda

La isla San Cristóbal posee una demanda cercana a los 2.14 MW la cual se reparte alrededor de toda la isla. El análisis que se realizará respecto al alimentador Norte (1), será proporcional a la ubicación territorial de cada uno de los domicilios con acometidas registradas en la empresa eléctrica galápagos.

La Tabla 2.4 a continuación muestra los valores de energía térmica y eólica suministrada en el año 2012, además de un aproximado del número de galones de diésel usados para la producción de energía eléctrica desde las unidades térmicas.

Parámetro	Año 2012
Energía Términa kWh	8'688.079
Energía Eólica kWh	2'398.373
Energía Neta kWh	13'496.191
Demanda MW	2.14
Combustibles Galones	804.234

Tabla 2. 4. Demanda de energía eléctrica de la isla San Cristóbal en el año 2012.

2.2. Diagrama Unifilar de la red eléctrica San Cristóbal.

La red eléctrica de San Cristóbal cuenta con tres alimentadores, que empiezan desde la subestación eléctrica del parque generador.

El diagrama unifilar del alimentador norte de la zona urbana, con sus respectivos transformadores y puntos de carga se muestra a continuación Figura 2.1. :

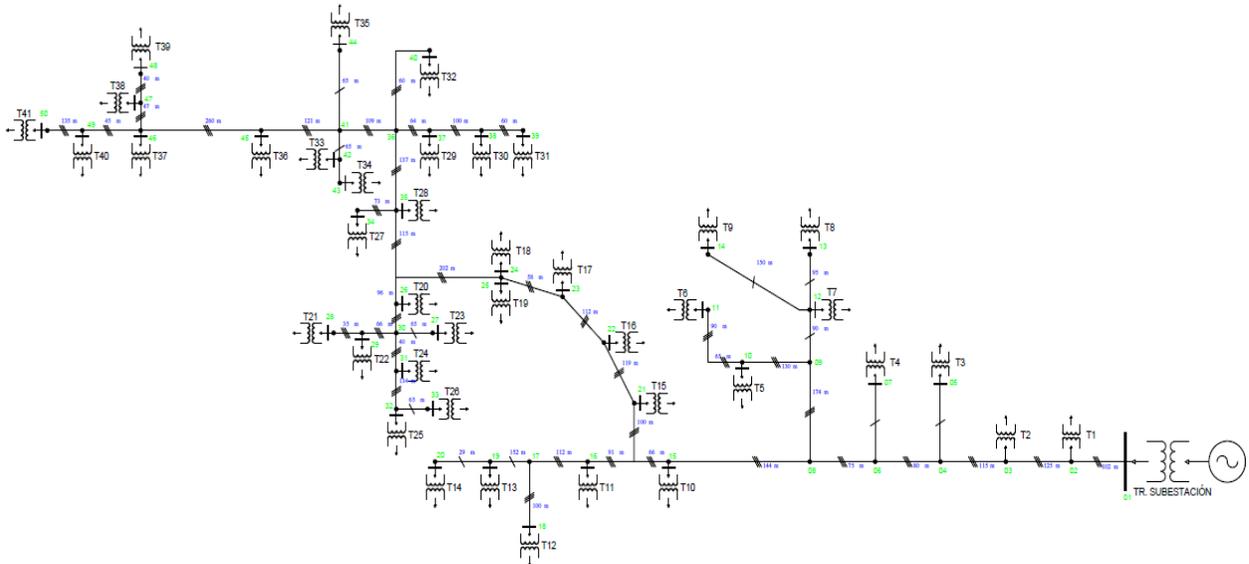


Figura 2. 1. Diagrama Unifilar, Red Eléctrica San Cristóbal-Alimentador Norte

El diagrama unifilar presentado, muestra cada uno de los transformadores existentes a lo largo del ramal de la alimentadora norte a nivel de media tensión (13,8 kV), además se especifica las distancias en metros existentes entre cada nodo del sistema.

Las distancias fueron referenciadas a través de una de las herramientas que dispone Google Earth, serán usadas para conocer las resistencias y reactancias aproximadas entre cada tramo del alimentador.

Se realizó un conteo del total de acometidas conectadas a cada transformador de distribución para establecer los porcentajes de carga estimados que se encuentra conectada a cada transformador.

Más adelante se va a ampliar el análisis para la obtención de la curva de carga que representa al sistema.

El alimentador norte de la red eléctrica San Cristóbal posee un total de 874 acometidas para servir a cerca de 1000 clientes regulados, no se está tomando en cuenta la carga consumida por hurto de energía eléctrica.

El alimentador norte de la Red Eléctrica San Cristóbal, es de tipo MCM, calibre 2/0 en media tensión.

Alimentador Sur, San Cristóbal			
Calibre	Resistencia (ohm/mi)	Reactancia (ohm/mi)	Ampacidad (A)
2/0	0.2779	0.4277	245

Tabla 2. 5. Datos técnicos del alimentador Sur, red eléctrica San Cristóbal

En la Tabla 2.5. se observa los valores de resistencia y reactancia de la red en Ohm/mi, las distancias mostradas en el diagrama unifilar de la Figura 2.1. serán usadas para obtener los valores reales de impedancia de la red en Ohm.

2.2.1. Transformadores.

El alimentador norte tiene un límite máximo de flujo de corriente de 245 Amperios por fase.

Según [13], la capacidad nominal total de los transformadores monofásicos en el alimentador norte de la isla San Cristóbal es de 1145 kVA y de 1190 kVA para transformadores trifásicos, usados para alimentar a la carga presente en la isla. La red eléctrica en el análisis a realizar contará con un total de 36 transformadores de distribución monofásicos con una capacidad nominal de 37.5 kVA cada uno, y con 5 transformadores trifásicos con una capacidad nominal de 250 kVA cada uno. La Tabla 2.6. presenta un resumen de los datos especificados:

Circuito	Trafos 1Ø	Capacidad Unitaria 1Ø [kVA]	Trafos 3Ø	Capacidad Unitaria 3Ø [kVA]
Norte, San Cristóbal	36	37.5	5	250

Tabla 2. 6. Capacidad de Transformadores, Alimentador Sur, Red eléctrica San Cristóbal.

2.2.2. Estimación de la carga

La demanda del Alimentador Norte para el presente estudio comprenderá, el consumo de energía eléctrica por parte de los edificios y residencias, adicionando el consumo con el ingreso de vehículos eléctricos. Se

considera dentro del total de autos a ingresar, vehículos de uso residencial y taxis.

2.2.3. Estimación de la carga por usuario

Con la finalidad de calcular o estimar los perfiles de carga de cada uno de los usuarios servidos por el Alimentador Norte (1) utilizado para el presente caso de estudio, se utilizará el perfil de carga total del alimentador en conjunto con la simulación del comportamiento típico de carga de los tres principales tipos de usuarios presentes en un sistema de distribución, estos son usuarios residenciales, comerciales e industriales.

Para determinar el número de usuarios ya sea residencial, comercial o industrial se realizó un conteo de acometidas por transformador, y en función de la ubicación geográfica de los mismos se determinó que porcentaje de acometidas pertenecen a cada tipo de usuario en mención según Tabla 2.7.

Transformador	Residenciales	Comerciales	Industriales	Total
1	15	0	0	15
2	18	0	0	18
3	15	6	0	21
4	20	0	0	20
5	55	0	0	55
6	40	5	0	45
7	14	0	0	16
8	11	0	0	11
9	22	0	0	22
10	30	6	0	36
11	25	5	0	30
12	15	0	0	15
13	30	10	0	42
14	18	0	0	18
15	20	0	0	20
16	28	0	0	28
17	30	0	0	30
18	33	0	0	33
19	15	5	0	21

20	19	3	0	22
21	11	4	0	15
22	20	5	0	26
23	16	2	0	18
24	25	3	0	30
25	27	0	0	27
26	10	5	0	16
27	0	0	1	1
28	18	3	0	21
29	29	0	0	29
30	19	0	0	19
31	0	0	1	1
32	0	0	2	1
33	16	0	0	16
34	10	7	0	17
35	24	0	0	28
36	18	0	0	18
37	0	0	2	1
38	10	5	0	15
39	16	0	0	16
40	16	4	0	20
41	0	0	1	1
Total				854

Tabla 2. 7. Distribución de acometidas por tipo de usuario en el Alimentador Norte.

Se define el comportamiento típico diario de un usuario de tipo industrial, con la finalidad de extraer de la carga total del sistema, conociendo el número de usuarios industriales, y la carga total de los mismos. El usuario tipo industrial que se ha definido tendrá un consumo aproximado de 5 kW desde las 22:00 horas de un día hasta a las 8:00 horas del día siguiente, hora a la que se estima comienzan las actividades cotidianas de la industria, por lo tanto el consumo se incrementa hasta 10 kW por las siguientes 12 horas. Además se considera un pico de carga de 12 kW que se presenta a las 21:00 horas debido a cierre de actividades de la industria. El comportamiento propuesto se repite cíclicamente de manera similar para los siguientes días del mes.

Los usuarios de tipo residencial y comercial son tratados desde otra perspectiva. Del total de carga real medida en el Alimentador Norte, se resta la carga industrial estimada, obteniendo así la carga residencial más comercial acumulada, posteriormente se repartirá esta carga resultante entre usuarios residenciales y comerciales respectivamente.

La relación entre estos dos tipos de usuarios, se asume por intervalos de horas durante el día, como se detalla a continuación: 1.) Entre las 00:00 horas y 08:00 horas el total de carga comercial corresponderá a 1.5 veces la carga residencial por usuario; y 2.) Entre las 08:00 horas y las 24:00 horas el total de carga comercial corresponde a dos veces la carga residencial por usuario.

La relación entre carga residencial y comercial expuesta se basa en que las islas San Cristóbal es un sector mayoritariamente turístico, y el total de carga comercial corresponde en un mayor índice a hoteles, restaurantes y locales de funcionamiento turístico nocturno.

Finalmente, para estimar la demanda por usuario de cualquier tipo se elaboró un algoritmo de programación en el software Matlab de nombre "*Load_estimation_feeder_1*". Los resultados serán presentados en el Capítulo 3 de este documento, Figura 3.2.

2.2.4. Estimación de la carga de vehículos eléctricos

2.2.4.1. Estimación de la Carga por taxis

El parque automotor de la isla San Cristóbal según el informe "Galápagos 2009-2010" presentado por el Ministerio del Ambiente Ecuatoriano [13]. En San Cristóbal se censaron 699 vehículos terrestres, la mayoría en el sector taxis (110 vehículos), 438 vehículos corresponden a particulares incluyendo motocicletas; la diferencia de 151 vehículos corresponden al resto de sectores. Observar Tabla 2.8.

Según datos actuales de la cooperativa de taxis "Islas Galápagos", ubicada en el área correspondiente al alimentador Norte, cuenta con 53 unidades de vehículos operativos, el restante del total de taxis censados en la isla San Cristóbal serán tomados en cuenta como parte del Alimentador Sur del sistema.

Clase	Sector											Suma
	Público	Cuenta Propia					Comercial				Particular	
		Masivo	Pesca	Agropecuario	Comercial	Construcción	Artisanal	Taxi	Carga	Turístico		
Camioneta	0	10	12	14	1	1	110	0	8	23	36	215
Automóvil	0	3	3	10	0	4	0	0	1	0	6	27
Jeep	0	0	5	4	0	0	0	0	1	9	9	28
Motocicleta	0	0	0	1	0	0	0	0	0	7	380	388
Cuadrón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
Camión	0	0	0	1	0	0	0	3	1	3	3	11
Furgoneta	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	3
Buseta	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5
Ómnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	6
Equipo caminero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	10
Tanquero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3
Total	0	13	20	30	1	5	110	3	22	57	438	699

Tabla 2. 8. Registro vehicular de la isla San Cristóbal en 2009, Informe Galápagos 2009-2010, pag. 50.

2.2.4.1.1. Taxis, Simulación del comportamiento de la curva de carga.

El comportamiento diario básico de un taxi se obtuvo a partir de un estudio de demanda y satisfacción del servicio de taxis en la comunidad Comarca de Pamplona, España en el año 2012.

Aquí se presenta una distribución de carreras en períodos horarios, haciendo una diferenciación entre un día normal de trabajo y un día de fin de semana. Se tomó este estudio como base, debido a la similitud de las características geográficas de Pamplona con la isla San Cristóbal.

Destaca, para un día laborable el porcentaje de taxis en uso [14]:

- Se realizan por la mañana, entre las 6 y las 14 horas, el 60%.
- Por la tarde, entre las 14 y las 21 horas, el 26%.
- Entre las 21 y las 24 horas, el 8%.
- En tarifa nocturna, de las 24:00 a las 6:00, el 7%.

Para un día de fin de semana [14]:

- Por la mañana, entre las 6 y las 14 horas, se realizan el 14%.
- Por la tarde, entre las 14 y las 21 horas, el 10%.
- Entre las 21 y las 24 horas, el 7%.

- En tarifa nocturna, de las 24:00 a las 6:00, el 65%.

El objetivo, es determinar una función de densidad de porcentaje de uso de taxis por intervalo horario a lo largo del día, de tal manera que sea posible estimar mediante la Simulación de Monte Carlo el número total de taxis conectados cargándose por hora en el sistema. Con esto se simula el momento del día en el cual el taxi se ha descargado completamente para posteriormente ser conectado a la red del sistema, teniendo en cuenta el modelo de vehículo eléctrico a ser usado como taxi.

2.2.4.1.2. Procedimiento y consideraciones para la simulación de Monte Carlo

Los datos del estudio de uso de taxis en Comarca de Pamplona, indican la distribución de carreras por horas durante el día, dicho sea de paso puede ser considerado como el porcentaje de uso esperado de taxis durante los intervalos de tiempo presentados.

A fin de conocer qué porcentaje del total de taxis son utilizados a un nivel de uso específico por cada hora, se planteó una función de distribución de uso de taxis; en donde, se especifica para cada intervalo de tiempo en horas considerado en el día, el número de vehículos que se usan en cada índice.

Los índices mostrados en la Tabla 2. 9, van desde un porcentaje de uso del 5%, que corresponde a la descarga propia de la batería cuando el automóvil no es usado; hasta el 100% de uso que considera un automóvil que está siendo utilizado constantemente.

Para estimar el porcentaje de uso de un taxi en cada hora, se generó un aleatorio uniforme entre 0 y 1, el cual fue contrastado con la función de distribución acumulada de uso en el intervalo de hora que se encontrase.

Una vez obtenido el porcentaje de uso del taxi se calcula cuanto se descarga la batería en esa hora, para proceder a simular la siguiente hora mediante el mismo proceso; si la batería aún mantiene carga suficiente continúa con el mismo procedimiento hasta que la batería se descargue completamente y requiera ser conectada a la red para continuar con el proceso de carga debido

Índice	% Uso	Taxis									
		Frec.	Acum.	Frec.	Acum.	Frec.	Acum.	Frec.	Acum.	Frec.	Acum.
		[0:00-6:00]	[6:00-10:00]	[10:00-14:00]	[14:00-21:00]	[21:00-24:00]					
1	5%	70%	70%	0%	0%	0%	0%	48%	48%	72%	72%
2	20%	25%	95%	5%	5%	5%	5%	10%	58%	20%	92%
3	40%	5%	100%	15%	20%	15%	20%	15%	73%	5%	97%
4	60%	0%	100%	60%	80%	60%	80%	20%	93%	3%	100%
5	80%	0%	100%	15%	95%	15%	95%	5%	98%	0%	100%
6	100%	0%	100%	4%	99%	4%	99%	2%	100%	0%	100%

Tabla 2. 9. Porcentaje de utilización de taxis, según período en el día.

El proceso de carga dependerá del modelo de auto y terminará cuando el vehículo se encuentre cargado al 100 % de su capacidad. Esta simulación es realizada para cada uno de los taxis por cada hora durante un día, un número de n iteraciones.

La simulación de Monte Carlo arrojará una curva con un comportamiento típico diario del número de taxis conectados al Alimentador Norte por cada hora del día. Posteriormente el total de taxis por hora serán repartidos en varios puntos de carga definidos dentro del sistema.

2.2.4.2. Estimación de la carga para vehículos residenciales

De acuerdo a la Tabla 2.8. Informe galápagos, del Informe Galápagos 2009-2010, en la isla San Cristóbal existen un total de 105 camionetas, 28 automóviles y 27 Jeeps, suman un total de 160 vehículos dentro de la isla, cuyo sustitutivo en vehículo eléctrico podrían ser el modelo Nissan Leaf o el modelo Kia Soul EV, ambos modelos poseen características similares, y se considera una penetración del 100% del total de vehículos a reemplazar al inicio de este estudio.

Al existir tres alimentadores, que parten desde la central de Generación en la isla San Cristóbal, el número de vehículos fue repartido según consideraciones poblacionales. Un total de 80 vehículos esperados fueron asignados al Alimentador Norte, un total de 60 al Alimentador Sur, y los restantes 20 al Alimentador de la Zona Rural de la isla.

Para la estimación del total de vehículos residenciales en el alimentador de estudio, se asignó una cantidad aleatoria de distribución uniforme entre 0 y

4 vehículos por transformador. Ya que existen un total de 41 transformadores en el alimentador, el valor esperado de autos según la distribución uniforme usada es de 82 vehículos, el cual es un valor cercano al número de vehículos asignados al alimentador Norte.

Cabe recalcar que el número de vehículos residenciales por cada simulación no es fijo, pero se mantendrá alrededor del valor esperado de 82 vehículos.

Una vez determinado el número de vehículos residenciales en el alimentador, se estima el estado de carga (SOC, State of Charge), este proceso se realiza aleatoriamente con una distribución normal para el estado de carga, se asignó una media del 50% y una desviación estándar del 30% para cada vehículo residencial existente en el sistema.

Finalmente, se requiere conocer en qué hora del día el vehículo es conectado a la red, de manera similar se utilizó un procedimiento aleatorio con distribución normal para la hora a la cual se conecta. Se considera la distribución normal con media 22 horas y una desviación estándar de 3 horas.

2.3. Modelo de simulación para un Vehículo Eléctrico

El estudio a realizar incluye el ingreso de la carga que representa un vehículo eléctrico (EV) en una red de distribución, para este caso en particular, en la red eléctrica de la isla San Cristóbal.

El modelo eléctrico de un EV, está conformado por dispositivos electrónicos, en su mayor parte, con la finalidad de alimentar a una batería que servirá para el funcionamiento de un motor de corriente alterna o continua que se encargará de la movilidad del auto.

El modelo estará representado por tres bloques definidos de la siguiente manera en la Figura 2. 2.

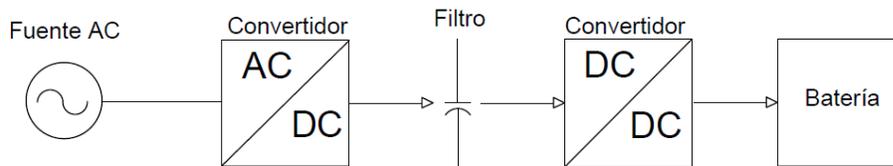


Figura 2. 2. Diagrama esquemático de alimentación a batería en un EV

La alimentación al sistema del EV será desde la red de distribución San Cristóbal a un voltaje nominal de 120/240 [V] a una frecuencia de 60 Hz según el tipo de carga que se desea realizar.

La red alimentará al vehículo, el cual inicialmente cuenta con un convertidor AC/DC compuesto por un puente de cuatro diodos de potencia, cuya ventaja principal radica en que no necesita de un control primario para su funcionamiento; existen otras alternativas de convertidores AC-DC que funcionan a partir de SCR's o IGBT's.

Del convertidor AC-DC se espera tener un voltaje continuo con rizo bastante pronunciado, por esta razón a continuación se presenta un filtro capacitivo con la finalidad de mantener el voltaje DC más estable y en un valor fijo. El filtro será parametrizado de acuerdo a las características del sistema y del voltaje deseado a la entrada del convertidor DC-DC.

A la salida del filtro capacitivo, se conectará el convertidor DC-DC cuya principal característica será la de elevar el voltaje hasta el valor nominal de carga del paquete de baterías de un EV. El tipo de convertidor DC-DC elegido para el modelo es denominado "Buck Boost".

2.3.1. Convertidor Buck Boost (DC-DC)

La finalidad del convertidor es obtener en sus terminales de salida un voltaje mayor al recibido desde la fuente de alimentación, en este caso una fuente de corriente continua. El control del convertidor puede ser usado tanto para disminuir o para elevar el voltaje de salida. En la Figura 2.3. se muestra el esquema más simple para un convertidor de este tipo.

Se observa un switch simple a la entrada del sistema, el cual representa un elemento electrónico a ser conmutado, en nuestro modelo se usará un Mosfet de potencia para realizar esta función. Al gate del Mosfet se

conectará la llegada de los disparos desde el control PWM para lograr la conmutación correcta. La variación del voltaje en los terminales de salida dependerá del ancho de pulso y del período de las pulsaciones a ser generadas.

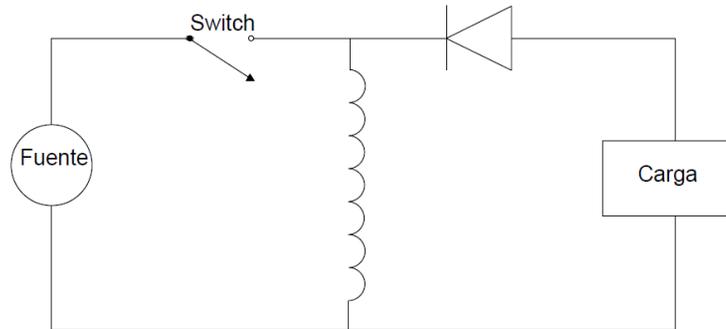


Figura 2. 3. Diagrama simple para un convertidor DC-DC, tipo Buck Boost.

2.3.2. Principio de funcionamiento del convertidor DC-DC tipo BUCK BOOST

El Mosfet de potencia funciona básicamente como un switch ideal, controlado por pulsos que se generan en un período específico establecido por el operador y que dependerá de las características que se requieran en el sistema. La Figura 2.4. representa un esquema más detallado del convertidor a ser usado.

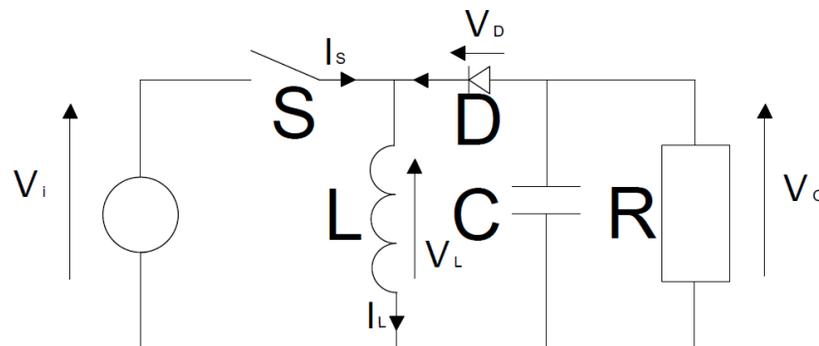


Figura 2. 4. Modelo detallado del Convertidor Buck Boost.

El mosfet será representado a través de un switch con una resistencia despreciable entre sus terminales; cuando el switch está cerrado, la fuente de alimentación se encuentra conectada directamente al inductor, almacenando energía en su campo magnético durante un pequeño tiempo, en este momento el capacitor se encuentra alimentando a la carga.

Cuando se produce la apertura del switch la energía almacenada en el inductor es transferida hacia el capacitor y posteriormente alimenta directamente a la carga conectada a los terminales del convertidor.

El proceso de carga del inductor y el tiempo en que el switch se mantiene cerrado o abierto logrará un incremento o disminución del nivel de voltaje que se espera en la carga.

El convertidor DC-DC será el encargado de conectarse a los terminales del paquete de baterías, para esto es necesario analizar el modelo a ser usado.

2.3.3. Modelo de Batería

Un modelo basado en un circuito eléctrico puede ser usado para representar de mejor manera las características de la batería de un vehículo eléctrico.

El modelo más simple puede ser representado y está compuesto por una fuente de voltaje ideal y una resistencia interna, debido a la simplicidad del modelo este no toma en cuenta el estado de carga de la batería (SOC). Para esto se implementa un modelo anexo que se basa en un voltaje de circuito abierto en serie con una resistencia y en paralelo con un circuito RC o también denominado impedancia Warburg.

Para describir las características generales de la batería en términos del voltaje terminal, el voltaje de circuito abierto, la resistencia interna, la corriente de descarga y el estado de la carga, serán usadas las ecuaciones de Shepherd [15] tanto para representar la carga y descarga de la batería.

Cabe recalcar que este modelo usa el estado de carga de la batería como una variable de estado para representar el comportamiento de los niveles de voltaje en los terminales de la unidad de almacenamiento de energía.

2.3.4. Carga de la batería.

El comportamiento de carga de las baterías y la forma de su característica depende del tipo de batería a ser usada. Los vehículos eléctricos en su gran mayoría son construidos con baterías de Ion-Litio. Su comportamiento se caracteriza porque el voltaje se incrementa rápidamente en el último

tramo de carga, y se modela mediante el término resistencia de polarización.

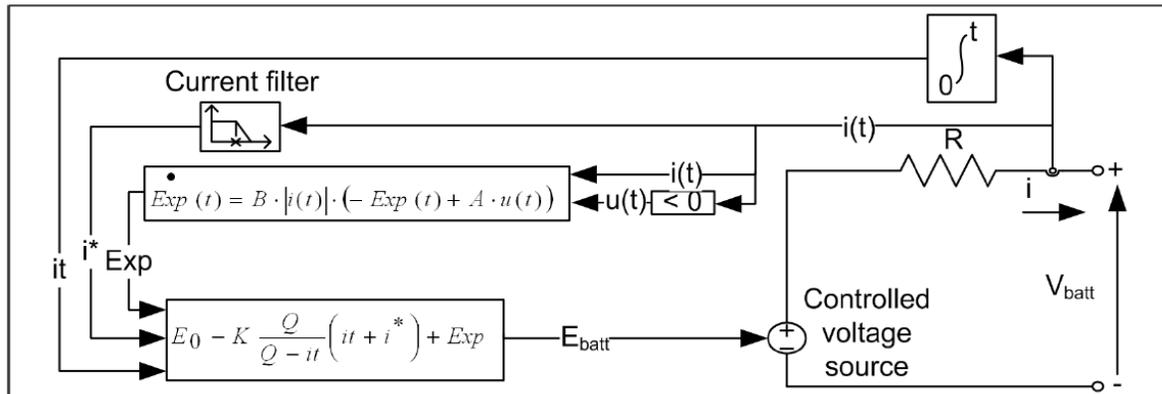


Figura 2. 5. Modelo de Carga y Descarga de Batería usado en Simulink-SymPowerSystem [15].

La batería de Ion-Litio para el modelo mostrado en la Figura 2.5. se encuentra representado por las siguientes ecuaciones matemáticas [15]:

$$E_{batt} = E_0 - K \frac{Q}{it - 0.1Q} \cdot i^* - K \frac{Q}{Q - it} + Exp(t) \quad (2.1)$$

Ecuación de Descarga:

$$V_{batt} = E_0 - R \cdot i - K \frac{Q}{Q - it} \cdot (it + i^*) + Aexp(-B \cdot it) \quad (2.2)$$

Ecuación de Carga:

$$V_{batt} = E_0 - R \cdot i - K \frac{Q}{Q - 0.1it} \cdot (i^*) - \frac{Q}{Q - it} \cdot it + Aexp(-B \cdot it) \quad (2.3).$$

2.4. Estudio de Carga Actual del Alimentador Norte de la isla San Cristóbal.

El alimentador Norte de la isla San Cristóbal posee un total de 41 transformadores distribuidos a lo largo del territorio, para abastecer de manera total a la demanda requerida por usuarios de tipo residencial, comercial e industrial.

El estudio se centrará inicialmente en conocer la situación actual de trabajo del sistema de distribución el cual será simulado a través del software CYME. Esta herramienta requiere conocer como datos principales de entrada cada una de las características de los elementos que conforman la red de distribución.

La base de datos estará conformada por las impedancias de las líneas de distribución y la capacidad de corriente máxima soportada, las impedancias y potencias nominales de los transformadores conectados a cada nodo existente, la

capacidad de potencia de generación instalada en la isla, y por último las características de carga conectadas a cada transformador del sistema.

De la situación actual de la red, se busca conocer el comportamiento y respuesta de cada elemento ante la demanda presentada en un día cualquiera de análisis, para este caso el estudio será realizado de manera dinámica durante un día normal de trabajo (Lunes a Viernes) del mes de diciembre.

Se espera que los valores medidos tanto de corrientes, voltajes, potencias, pérdidas, perfiles de voltajes y márgenes de reserva en la generación se encuentren dentro de un margen aceptable de trabajo. Es necesario como principal punto, conocer la cargabilidad actual de las líneas y de los transformadores de distribución, puesto que esto nos dará una idea de la disponibilidad que el sistema puede tener ante un aumento de carga considerado.

2.5. Estudio de Carga con el ingreso de vehículos eléctricos del Alimentador Norte de la isla San Cristóbal.

Un vehículo eléctrico con característica enchufable, consume potencia eléctrica de la red cada vez que este es conectado. Para la simulación en CYME serán usadas las curvas de carga por transformador que incluyen la demanda de usuarios, demanda de vehículos eléctricos residenciales y demanda de taxis existentes en cada punto de carga durante un día completo.

Un algoritmo de programación desarrollado en Matlab que integra los procedimientos de estimaciones de carga anteriormente descritos es usado para generar una librería direccionada de curva de carga que se integrará al escenario de simulación de CYME, ofreciendo mayor flexibilidad a modificaciones en porcentaje de penetración de vehículos eléctricos, número de autos en estudio, índices de comportamiento de usuarios vehiculares, modificaciones en las curvas diarias de uso de taxis, y otros.

El sistema eléctrico a simular se presta para lograr varios escenarios de estudios, con la finalidad de lograr hacer un análisis más profundo de vehículos eléctricos en el alimentador norte de la isla San Cristóbal.

Además, se estimará la carga total del alimentador Sur y el alimentador Zona Rural considerando la demanda coincidente de vehículos en ambos

alimentadores, con la finalidad de tomar en cuenta todo el sistema de distribución de la isla y lograr un comportamiento más real.

2.5.1. Caso de estudio, Penetración de vehículos eléctricos

El ingreso de vehículos eléctricos en el sector no se realizará de manera drástica, sino que se debe considerar una evolución en el índice de penetración de los mismos en un horizonte temporal.

Esto nos permitirá evaluar el sistema a distintos niveles de penetración de EV, buscando determinar, en base a la generación disponible, hasta que porcentaje de ingreso de vehículos eléctricos es aceptable en el sistema.

Para este caso de estudio, únicamente se analizará una penetración aproximada del 20%, 80% y 100% de vehículos eléctricos, ya que para cada porcentaje de penetración serán generados distintos perfiles de carga para cada transformador.

El comportamiento de la carga correspondiente a vehículos residenciales y taxis será diferente al que se pueda presentar cuando se toma en cuenta el 100% de EV. Con esto es posible definir límites de soporte de carga en el sistema, relacionado a la generación existente en la isla, y las características técnicas de trabajo de los elementos de la red.

2.6. Análisis de Armónicos en la Red San Cristóbal

Los vehículos eléctricos actuales, están compuestos por elementos no lineales de características electrónicas, los cuales causan, según su uso, variaciones en las ondas corriente que distorsionan las ondas de voltaje que alimentan a su sistema. Además, poseen una parte mecánica, que para nuestro estudio no será tomada en cuenta.

Las distorsiones que se producen con el ingreso de vehículos eléctricos (EV) a una red de distribución, traen consigo efectos negativos en la calidad de la energía prestada a los usuarios por los armónicos que se introducen al sistema eléctrico.

La finalidad de realizar este estudio de armónicos es conocer el impacto que se produce en la red a la cual se conectan los vehículos eléctricos cuando estos se encuentran únicamente en estado de carga.

Diversos niveles de carga producen distorsión armónica y potencia absorbida de la red de manera diferente. El estudio se amplía cuando el número de autos conectados a los transformadores es incrementado, y por tanto los efectos también aumentan.

Se realizará la repartición de vehículos por sectores estratégicos que se esperan sean puntos masivos de carga, especialmente para los taxis que corresponden al alimentador Norte de la isla. La simulación de la red principal y su correspondiente cálculo de armónicos en los sectores principales será a través del software CYME.

El incremento del total de distorsión armónico en la red causa evidentes problemas hacia otros usuarios conectados al sistema, estrés mecánico de varios elementos, mayores pérdidas de potencia y por ende aumento del coste económico, el conjunto de estos efectos negativos genera una mala calidad de entrega de energía en el sistema.

Esta distorsión armónica puede ocasionar inconvenientes en los sistemas de protección, sistemas de medición, reducir la vida útil de equipos, por lo que resulta necesario reducir los efectos de los mismos.

2.6.1. Contenido de Armónicos en las Corrientes por las cargas de EV

Los niveles de armónico que cada auto ingresa a la red serán obtenidos a partir de la simulación de los modelos de convertidores y paquete de batería que representan a un EV realizada en Simulink, biblioteca perteneciente al software Matlab.

Con los resultados de la simulación en Matlab Simulink, se analizará una parte de la red del Alimentador Norte de San Cristóbal en baja tensión correspondiente al transformador número 17, debido a que este sirve 30 acometidas. Se conectará en la red de baja tensión cargas que representaran los EV, con el objetivo de evaluar cuanto afecta el ingreso de un EV en dicha red, y similarmente se realizara una evaluación para 2, 3 y 4 EV en la misma red.

2.6.2. Límites de Armónicos de Voltaje.

Según la Regulación No. CONELEC-004/01 [16]: "Los valores eficaces (rms) de los voltajes armónicos individuales (V_i) y los THD, expresados

como porcentaje del voltaje nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite (V_i' y THD') señalados a continuación en la Tabla 2.10.”.

ORDEN (n) DE LA ARMONICA Y THD	TOLERANCIA $ V_i' $ o $ THD' $ (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (trafos de distribución)
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
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
> 25	$0.1 + 0.6*25/n$	$0.2 + 1.3*25/n$
Impares múltiplos de tres		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 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
Mayores a 12	0.2	0.5
THD	3	8

Tabla 2.10. Variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal según la regulación 004/01 del CONELEC [16].

2.6.3. Límites de Distorsión en Voltaje.

El encargado del sistema de distribución será responsable de dotar un servicio con niveles de voltaje adecuados para el correcto funcionamiento de los equipos conectados al sistema de distribución eléctrica, los límites que se establecen bajo normativa IEEE 519.2014, se detallan en la Tabla 2.11.

Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
1 kV $< V \leq 69$ kV	3.0	5.0
69 kV $< V \leq 161$ kV	1.5	2.5
161 kV $< V$	1.0	1.5^3

Tabla 2.11. Límites de distorsión de Voltaje. IEEE Std. 159.2014 [9].

2.6.4. Diseño de filtros Pasivos para Vehículos Eléctricos.

Los filtros armónicos cumplen la función de evitar que las corrientes armónicas circulen por el sistema de distribución y reducir la distorsión de la tensión. Estos pueden ser pasivos, es decir, que están conformados por un arreglo de impedancias, o activos, los cuales están basados en la electrónica de potencia.

Con el ingreso de EV en el sistema eléctrico de San Cristóbal se espera una gran distorsión en la onda de voltaje de la red, debido a la gran distorsión en la corriente que toman al momento de cargarse los EV. Las regulaciones nacionales y normativas internacionales establecen límites para la distorsión en voltajes y corrientes, lo que hace indispensable implementar un mecanismo que ayude a mitigar los efectos de las corrientes distorsionadas, como lo son los filtros de armónicos.

Entre las características del filtro pasivo se detallan, la potencia reactiva deseada del filtro, y el factor de calidad del filtro.

Para propósitos del presente proyecto, se diseñará un filtro pasivo para reducir los efectos de las corrientes armónicas en el sistema, y para este caso específico se utilizará un filtro sintonizado simple.

2.6.4.1. Cálculos para el diseño de un filtro sintonizado simple.

El filtro sintonizado simple o filtro de banda de paso, ver Figura 2.6., se compone de una inductancia en serie con una resistencia de bajo valor y una capacitancia. [12]

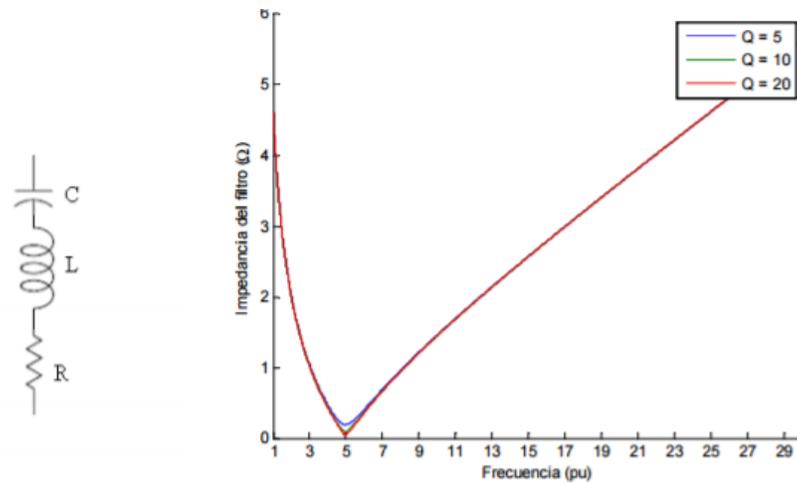


Figura 2.6. Filtro sintonizado a) Circuito, b) Impedancia vs Frecuencia [12].

$$Z_f = R + j \left(h * X_l - \frac{X_c}{h} \right) \quad (2.4)$$

De manera que la frecuencia de sintonía a la que ocurre el mínimo valor de impedancia coincide con la frecuencia de resonancia del filtro.

$$h = \sqrt{\frac{X_c}{X_l}} \quad (2.5)$$

Conociendo este valor, calcular los valores de X_l y X_c es fácil, teniendo el valor de la potencia reactiva nominal del condensador, esto es:

$$X_c = \frac{V_n^2}{h * Q_c} \quad (2.6)$$

$$X_l = \frac{X_c}{h^2} \quad (2.7)$$

Las aplicaciones de estos filtros son para armónicos de orden bajo, con un factor de calidad $Q = 20 - 50$, el cual se calcula como:

$$Q = \frac{h * X_l}{R} = \frac{X_c}{h * R} \quad (2.8)$$

La resistencia del filtro puede ser calculada como:

$$R = \frac{h * X_l}{Q} \quad (2.9)$$

La reactancia X_c se calcula a partir de la potencia reactiva nominal del filtro como:

$$X_c = \frac{V_n^2}{h * Q_c} \approx \frac{V_n^2}{Q_1} * \frac{h^2}{h^2 - 1} \quad (2.10)$$

CAPÍTULO 3

3. CARGA SAN CRISTOBAL ALIMENTADOR NORTE.

3.1. Demanda actual sin vehículos eléctricos.

Para el respectivo análisis se consideró el alimentador norte de la isla San Cristóbal, conformado por un conjunto de 36 transformadores monofásicos con una capacidad nominal de 37.5 kVA y 5 transformadores trifásicos con una capacidad nominal de 250 kVA. Considerando cargas de tipo residencial, comercial e industrial por transformador como se mostró en el Capítulo 2 del presente estudio.

El procedimiento de estimación de cargas de los transformadores y usuario se realizó a partir de los datos de carga históricos de los alimentadores norte, sur y zona rural de la red San Cristóbal.

La estimación se la realizó para un día cualquiera del mes de diciembre en el alimentador norte.

La demanda total del alimentador resulta de la simulación con el algoritmo "load_estimation_feeder_1V0", obteniendo las curvas de carga por usuario y por transformador durante un día como se muestra a continuación.

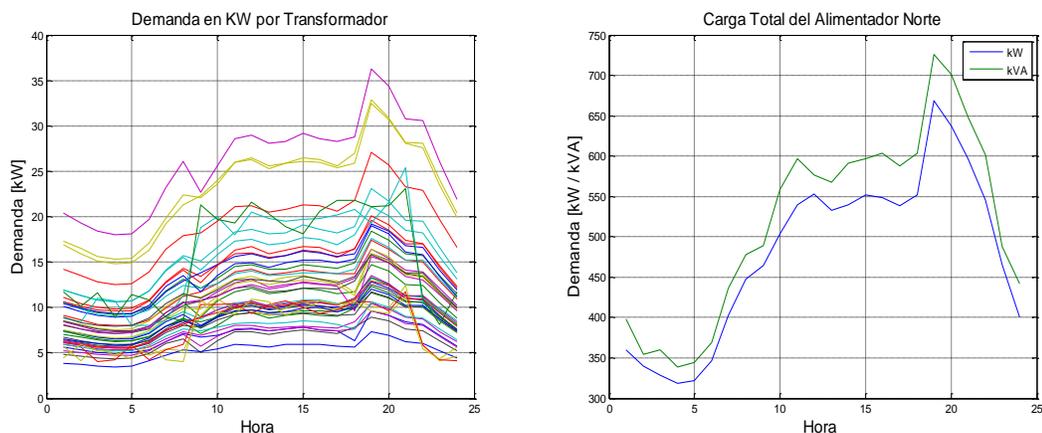


Figura 3.1. Curvas de demanda por transformador obtenida a partir de Matlab y Curvas de demanda Total del Alimentador Norte

La Figura 3.1. muestra la demanda en kW por transformador en el alimentador norte en un tiempo total de 24 horas, un día completo. Fueron generados 41

perfiles de carga correspondientes a cada unidad de transformación. Es posible identificar los distintos comportamientos existentes para cada uno de estos, el cual va a depender del número de usuarios comerciales y residenciales conectados al transformador respectivamente, o si es el caso, se puede tratar de usuarios de tipo industriales, basados en el modelo de curva de carga presentados en la Sección 2.2.3

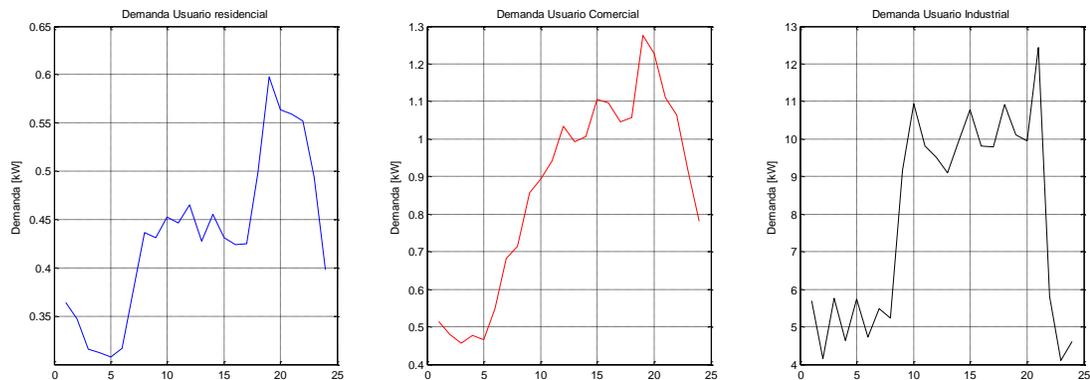


Figura 3.2. a) Usuario Residencial; b) Usuario Comercial; c) Usuario Industrial.

La Figura 3.2. presenta los tres tipos de perfiles de carga correspondientes a los usuarios residenciales, comerciales e industriales conectados al sistema.

Se puede notar que, para este caso, el mayor pico de carga presentado es de 12.5 kW, correspondiente al usuario de tipo industrial. Los usuarios residenciales y comerciales poseen cargas máximas menores a 1.5 kW, es decir, se espera que transformadores con cargas de tipo industrial conectadas en sus terminales se encuentren en niveles más altos de cargabilidad.

La Figura 3.1. , muestra la carga total del alimentador norte a lo largo de un día en kW y kVA, donde se observa una demanda de 668kW y un total de 726.2 kVA en la hora de máxima carga alrededor de las 19:00 horas. El factor de potencia de los usuarios varía entre 0.90 y 0.96; por otro lado, la mínima demanda se da a las 4:00 AM con un valor de potencia activa consumida de 318,5 kW y un total de potencia aparente consumida de 338.8 kVA respectivamente con la misma variación del factor de potencia antes mencionada.

En el Anexo 1.1., se muestran los valores de carga por transformador durante la hora de demanda máxima del sistema. Esta información será usada para el

desarrollo del flujo de carga actual en CYME. Se puede observar que el transformador número 5, presenta el mayor porcentaje de carga conectada en comparación con los otros transformadores, un total de 36,3 kW.

3.2. Flujo de Carga, Alimentador Norte de la Red San Cristóbal sin vehículos eléctricos.

Se procedió a realizar el flujo de carga del alimentador norte del sistema eléctrico San Cristóbal, para la demanda máxima de un día cualquiera del mes de diciembre en el software CYME. El beneficio principal del uso de esta herramienta de simulación computacional, radica en que permite realizar flujo de carga desequilibrado para sistemas de distribución.

CYME hace uso del método de Caída de Tensión desequilibrada, para el desarrollo del flujo de carga. A continuación, se presentan los resultados obtenidos, para la situación actual del sistema.

3.2.1. Generación

La unidad de generación usada en la simulación, sirve al Alimentador Norte con 672 kW de potencia activa y con 289 kVAR de potencia reactiva para abastecer al total de usuarios conectados a la red en el punto de máxima demanda.

De acuerdo a la Tabla 3.1. se observa que el factor de potencia promedio visto desde la barra de generación para el alimentador es de 91,88. Los niveles de corrientes son cercanos a 30 Amperios por fase, y considerando que la capacidad nominal del alimentador es de 245 Amperios por fase, a este nivel de generación se tiene una cargabilidad en los conductores del 13%.

Código	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Fp promedio (%)	IEquil (Amps)	IA (Amps)	IB (Amps)	IC (Amps)
Subestación	672	289	732	91,88	30,6	31,8	27,8	32,2

Tabla 3.1. Características de Generación para servir al Alimentador Norte.

Puesto que, para el sistema actual se estimó los perfiles de carga por usuario, se realizó el estudio de carga dinámico a largo plazo de 24 horas del día. Direccionando desde el software CYME cada uno de los perfiles de carga correspondientes a cada transformador, y obtenidos desde Matlab en formato .txt. A continuación Figura 3.3, se presenta la curva de demanda vista desde la salida del Alimentador Norte.



Figura 3.3. Curva de demanda para Alimentador Norte en situación actual

El pico de carga se produce alrededor del segundo 70000, es decir aproximadamente a las 19:00 horas del día, la curva de carga coincide con la curva obtenida a partir de la simulación en Matlab (Figura 3.1.)

3.2.2. Transformadores

Del flujo de carga a demanda máxima, existen 11 transformadores que se encuentran trabajando a más del 60 % de su carga total como se puede observar en la Tabla 3.2. El transformador número 5 es el único elemento de este tipo, que se sobrecarga en un 5 % aproximadamente durante el período de demanda máxima, por otro lado, los transformadores 13 y 6 se encuentran al límite de su cargabilidad. Es obvio pensar, que estas unidades serán las más propensas a presentar problema cuando los vehículos eléctricos sean conectados a la red.

Nro. equipo	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Fp promedio (%)	IEquil (Amps)	Desfase I	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kVAR)	Carga (%)
T5	36	16	40	91,52	5	-23,81	0,2	0,6	105,1
T6	33	14	36	91,58	4,5	-23,72	0,2	0,5	94
T10	27	12	30	91,66	3,7	-23,62	0,2	0,3	78,5
T37	21	9	23	91,75	2,9	-23,52	0,1	0,2	61,1
T13	33	14	36	91,57	4,5	-23,76	0,2	0,5	95,2
T11	23	10	25	91,72	3,2	-23,54	0,1	0,2	67

Tabla 3. 2. Transformadores con mayor cargabilidad del Alimentador Norte.

3.2.3. Niveles de tensión y corriente

El Alimentador Norte de la red San Cristóbal, presenta niveles de tensión dentro del límite de operación normal para una red de distribución ($\pm 5\%$ pu) según la regulación 004/2008 del CONELEC, por otra parte ninguno de los tramos de la alimentadora excede los límites de corriente del conductor usado (245 Amperios) para este caso. El despliegue completo se muestra en el Anexo 3.1. y Anexo 3.2. de este documento.

CYME permite conocer el perfil de tensión a lo largo del alimentador, herramienta con la cual se generó esta característica desde el nodo inicial (salida del alimentador) hasta el nodo final (nodo 50) para la situación actual a demanda máxima.

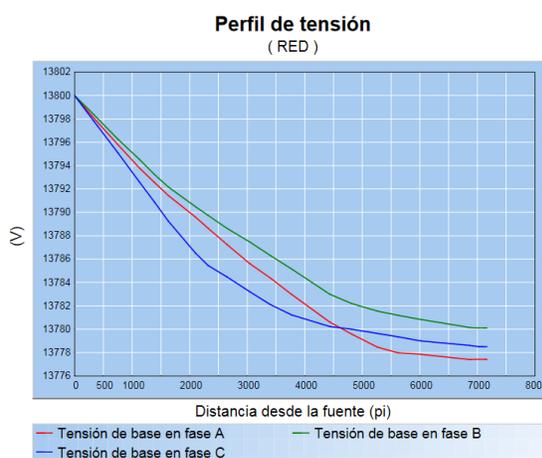


Figura 3.4. Perfil de Tensión a demanda máxima, situación actual

La gráfica del perfil de tensión tiene como coordenadas, en el eje X el voltaje del nodo (x) y en el eje Y la distancia del nodo (x) al nodo inicial. La máxima caída de tensión se da en la fase C del alimentador, llegando hasta un nivel de voltaje 13.776 kV que corresponde a un 0.17% de caída de tensión respecto a los 13.8 kV nominales del sistema en media tensión. Las fases A y B se mantienen en valores de caída de tensión menores a la fase C como se observa en la Figura 3.4.

3.3. Análisis de cargabilidad de la red eléctrica San Cristóbal con la penetración al 20% de vehículos eléctricos.

3.3.1. Demanda de usuarios por transformador para Alimentador Norte

La demanda por usuario fue obtenida a través del algoritmo "load_estimation_feeder_1" desarrollado en Matlab modificando el porcentaje de penetración al 20%. Los valores referentes a la demanda máxima por transformador se presentan en el Anexo 1.5.

3.3.2. Demanda de Vehículos Eléctricos (EV)

La demanda de vehículos eléctricos para el sistema, se obtuvo en dos secciones, la primera corresponde a los vehículos de tipo residencial y la segunda corresponde a los vehículos tipo taxis conectados a la red.

3.3.2.1. Estimación del número de vehículos residenciales conectados a la red.

De acuerdo a la metodología presentada en la Sección 2.2.4.2, en donde se explica la manera en la que se estimó el número de vehículos eléctricos residenciales que se encuentran conectados a la red a cualquier hora durante el día, se presenta la siguiente figura en la que se muestra el comportamiento mencionado cuando la penetración de vehículos de este tipo es de un 20%.

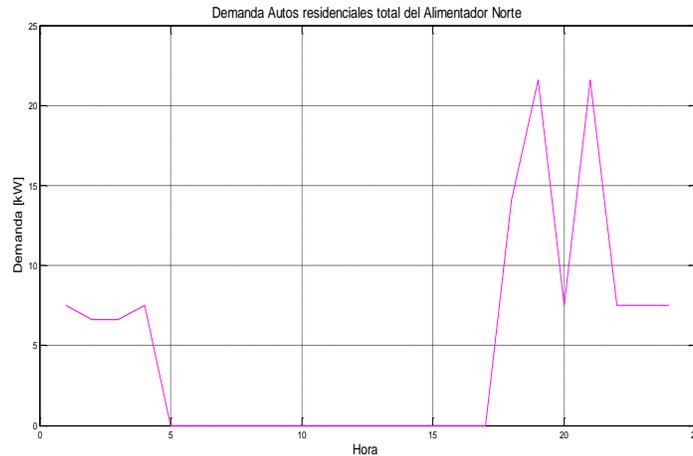


Figura 3.5. Curva de Carga de vehículos eléctricos residenciales con 20% de penetración.

Además en el período entre las 5:00 horas y las 16:30 horas ningún vehículo de tipo residencial se conecta al sistema. La Figura 3.5 presenta la característica de carga en el sistema de vehículos únicamente residenciales, asumiendo un comportamiento típico de los usuarios.

3.3.2.2. Estimación del número de vehículos eléctricos tipo taxi conectados a la red.

De acuerdo a la metodología presentada en la Sección 2.3.2.1, en donde se explica la manera en la que se estimó el número de vehículos eléctricos tipo taxis que se encuentran conectados a la red a cualquier hora durante el día a través de la simulación de Monte Carlo, se presenta a continuación la característica resultante.

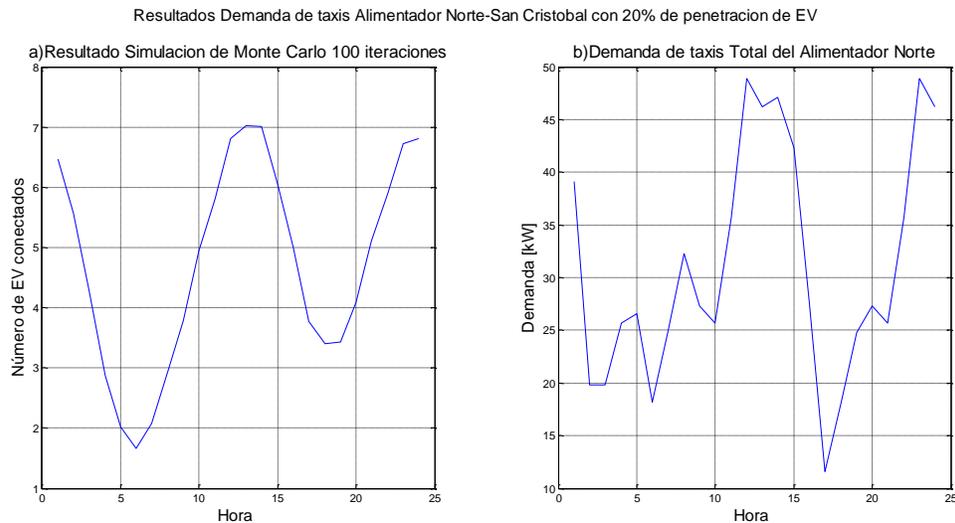


Figura 3.6. a) Resultado Simulación de Monte Carlo con 100 iteraciones con 20% de penetración de EV. b) Demanda total de taxis (EV).

La estimación de la curva de demanda de los taxis en el Alimentador Norte, se lo realizó utilizando la simulación de Monte Carlo con 100 iteraciones como se muestra en la Figura 3.6. b), obteniendo una característica cíclica por día en la que se considera que el total de taxis en el alimentador norte corresponde a 11 vehículos. Se observa que alrededor de las 13:00 horas existe la mayor coincidencia de taxis conectados a la red, un total de 7 EV. Basados en el resultado de la simulación de Monte Carlo para taxis en San Cristóbal se tiene que la máxima coincidencia de EV tipo Taxi conectados cargándose simultáneamente a la misma hora, corresponde 7 vehículos de que corresponde al 63,6% aproximadamente, y la mínima coincidencia corresponde a 2 vehículos siendo el 18% de coincidencia aproximadamente.

En contraste, en la Figura 3.6. a), se muestra lo obtenido en la última iteración de la simulación de Monte Carlo para Taxis en San Cristóbal, considerando adicionalmente las etapas de carga en la que se encuentran cada uno de los taxis que se conectan a la red o que ya llevan conectados al menos una hora o más. El pico máximo de carga por conexión de taxis en el sistema se produce a 13:00 horas con un total de demanda aproximada de 50 kW. Por otro lado a la 17:00 horas existe en el sistema la demanda mínima por taxis con un total de 12 kW aproximadamente.

Tabla de frecuencias de Etapas SOC Alimentador Norte																								
Hora'	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
'Cargados/Disponibles'	5	8	8	7	7	8	7	6	7	7	5	3	4	4	5	7	9	8	7	7	7	5	3	4
'Etapa 1'	2	0	0	1	1	1	1	1	0	1	3	3	0	0	0	1	1	1	1	0	1	3	3	0
'Etapa 2'	1	2	0	0	1	1	1	1	1	0	1	3	3	0	0	0	1	1	1	1	0	1	3	3
'Etapa 3'	0	1	2	0	0	1	1	1	1	1	0	1	3	3	0	0	0	1	1	1	1	0	1	3
'Etapa 4'	0	0	1	2	0	0	1	1	1	1	1	0	1	3	3	0	0	0	1	1	1	1	0	1
'Etapa 5'	3	0	0	1	2	0	0	1	1	1	1	1	0	1	3	3	0	0	0	1	1	1	1	0
Total vehiculos cargandose	6	3	3	4	4	3	4	5	4	4	6	8	7	7	6	4	2	3	4	4	4	6	8	7
Total de Vehiculos	11																							

Tabla 3.3. Tabla de frecuencias de Etapas (SOC).

La Tabla 3.3. muestra el total de vehículos eléctricos tipo taxi conectados a la red por cada hora durante el día, además identifica para esta simulación la etapa o estado de carga en la cual los vehículos se encuentran para una hora determinada y el número de unidades que ya están totalmente cargados y disponibles para ser usados. Cabe recalcar que el estado de carga de los vehículos fue dividido en 5 etapas distintas como se indicó en la metodología propuesta.

3.3.3. Estimación del perfil de carga para el alimentador Norte.

El perfil de carga total del alimentador Norte resulta de la unificación de los perfiles de demanda eléctrica estimados para los usuarios, los vehículos eléctricos residenciales y los vehículos eléctricos tipo taxi.

Se asumió que no existe correlación estadística entre la demanda de los usuarios, autos residenciales y taxis.

A continuación, se presenta el perfil de demanda total del alimentador Norte.

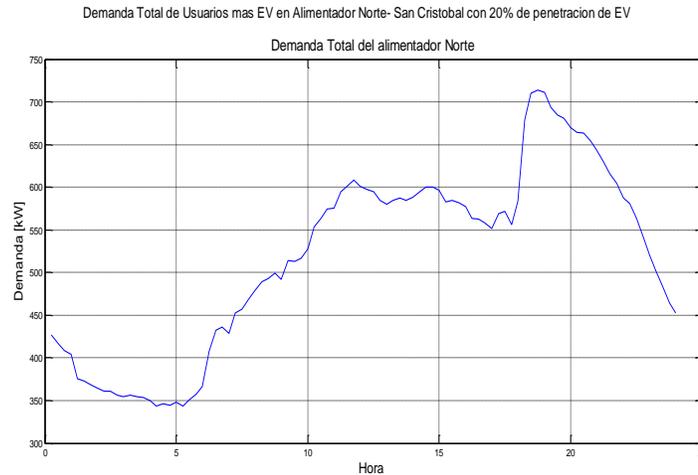


Figura 3.7. Demanda Total del Alimentador Norte.

Se observa que el pico máximo de demanda para este alimentador es de 713 kW y se alrededor de las 18:45 horas. Además desde el inicio de la tarde hasta las 15:00 horas la carga se estabiliza en un valor cercano a 600 kW.

El punto de mínima demanda se produce a las 5:15 horas de la mañana, y llega hasta un valor de 343 kW.

3.3.4. Estimación del perfil de carga para los alimentadores Sur y Zona Rural.

Se estimó únicamente los perfiles de carga totales de los alimentadores Sur y Zona Rural respectivamente, debido a que no se realiza en este documento.

En el alimentador Sur existen un total de 11 taxis y de 13 vehículos residenciales.

En el alimentador Zona Rural existen un total de 5 vehículos residenciales, no hay presencia de taxis, y hay un total de 30 vehículos eléctricos de carga baja (Renault Twizy).

A continuación, se presentan los perfiles de carga resultantes al 20% de penetración para ambos alimentadores.

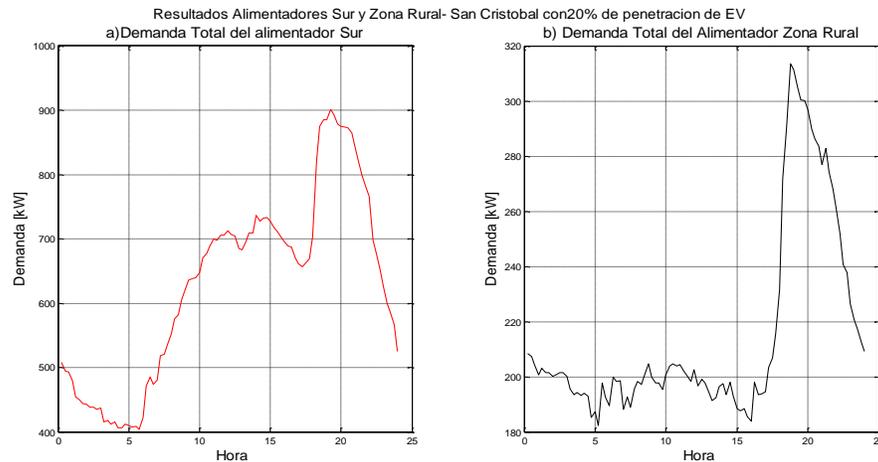


Figura 3.8. a) Demanda Total del alimentador Sur. b) Demanda Total del alimentador Zona Rural.

Evidentemente existe una gran diferencia entre la característica de carga del alimentador Sur con el alimentador Zona Rural. Esto se debe a la cantidad de usuarios conectados a los respectivos alimentadores y a la zona territorial en la cual se encuentran. El pico de carga máximo del alimentador sur observado en a) llega hasta un valor de 910 kW, y se da alrededor de las 19:15 horas, por otro lado la hora de incidencia de mayor carga en el alimentador Zona Rural se da alrededor del mismo espacio horario, y llega hasta un valor demandado de 315 kW.

3.3.5. Flujo de carga para la red San Cristóbal con 20% de penetración de vehículos eléctricos.

El procedimiento de estimación de cargas de los transformadores y usuario se realizó a partir de los datos de carga históricos de los alimentadores norte, sur y zona rural de la red San Cristóbal.

La curva de demanda para cada transformador resulta de la simulación con el algoritmo "load_estimation_feeder_1". A continuación se presenta las características de demanda para los 41 transformadores existentes en el alimentador norte.

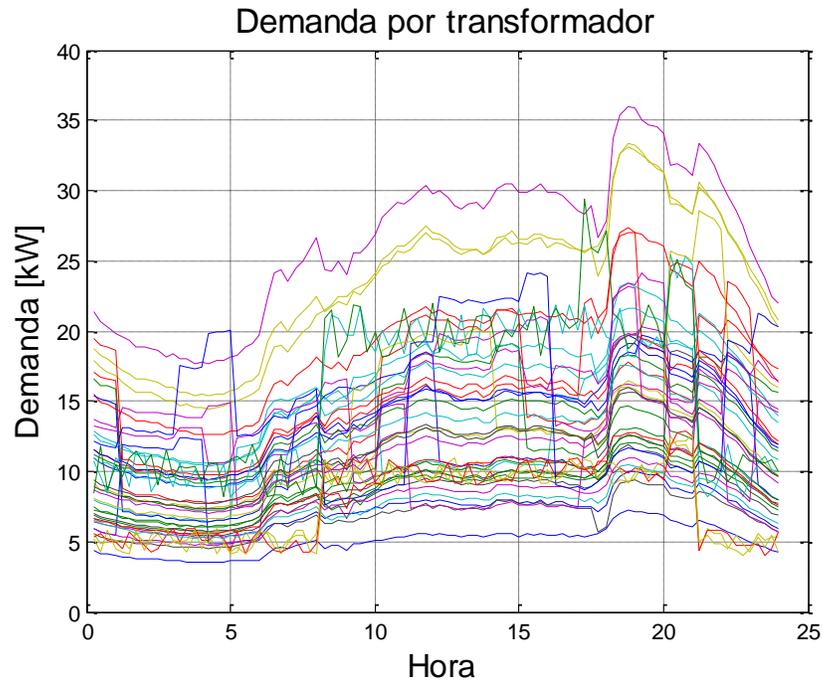


Figura 3.9. Curvas de demanda por transformador.

Se presentan los 41 perfiles de carga estimados de los transformadores conectados al alimentador norte cuando existe una penetración del 20 % de vehículos eléctricos (Figura 3.9.). Se observa el cambio presentado en comparación a los perfiles de carga generados cuando los vehículos eléctricos no eran tomados en cuenta en ninguna situación (Figura 3.1). La demanda máxima resultante de la simulación se da en el transformador 5, llegando hasta un valor de 36 kW aproximadamente.

En el Anexo 1.2, se muestran los valores de carga por transformador durante la hora de demanda máxima del sistema, la cual se produce alrededor de las 18:45 horas. Esta información será usada para el desarrollo del flujo de carga en la peor situación cuando se da un 20 % de penetración de EV.

El flujo de carga para la red de distribución fue realizado a través de CYME. De manera siguiente, se presentan los resultados del flujo de carga.

3.3.5.1. Generación

La unidad de generación produce un total de 1820 kW de potencia activa y un total de 779 kVAR para abastecer al total de demanda máxima presente

en la isla. Además por los terminales del generador cruza una corriente equivalente de 83 Amperios por fase. Según Tabla 3.4.

Código	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Fp promedio (%)	IEquil (Amps)	IA (Amps)	IB (Amps)	IC (Amps)
Subestación	1820	779	1980	91,94	82,8	83,2	79,8	85,5

Tabla 3.4. Características de Generación para servir a la red San Cristóbal.

Debido a que se está tomando en cuenta el total de alimentadores existentes en la red, se obtuvo la característica de generación de potencia total en kVA a lo largo del día.

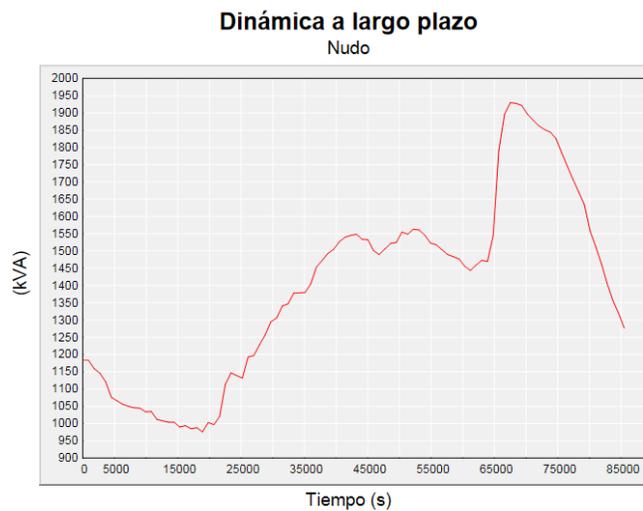


Figura 3.10. Generación Total a lo largo del día.

El máximo pico de potencia generada llega hasta un valor de 1980 kVA aproximadamente; a pesar de que es bastante pronunciado debido a la coincidencia de demanda entre alimentadores, se mantiene en un nivel mucho menor a la capacidad máxima de generación de la red San Cristóbal.

3.3.5.2. Transformadores

Como resultado del flujo de carga, se presenta la cargabilidad de los transformadores pertenecientes al alimentador Norte que se encuentran en un porcentaje de carga mayor al 60%.

Nro. equipo	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Fp promedio (%)	IEquil (Amps)	Desfase I	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kVAR)	Carga (%)
T5	36	16	40	91,53	5	-23,82	0,2	0,6	104,2
T6	34	15	37	91,57	4,6	-23,74	0,2	0,5	96,6
T10	28	12	30	91,66	3,8	-23,64	0,2	0,3	79,4
T17	27	12	30	91,66	3,7	-23,65	0,2	0,3	78,1
T18	22	9	24	91,75	3	-23,54	0,1	0,2	62,7
T19	24	10	26	91,72	3,2	-23,57	0,1	0,3	67,9
T40	23	10	25	91,72	3,2	-23,6	0,1	0,3	67,3
T13	33	15	36	91,57	4,6	-23,78	0,2	0,5	95,9
T11	24	10	26	91,72	3,2	-23,54	0,1	0,3	67,8

Tabla 3.5. Transformadores con mayor cargabilidad.

Los transformadores 5, 6 y 13 mantienen el mismo porcentaje de cargabilidad al presentado sin la condición de conexión de vehículos eléctricos en la red, esto indica que para la hora de demanda pico no está conectado ningún tipo de EV en estos transformadores, aun así ya se encuentran en su límite de carga.

Por otro lado los elementos 17,18, 19, 37 y 40 varían su cargabilidad con respecto a la condición inicial, y a la conexión de vehículos eléctricos en estos puntos de carga durante la hora en estudio.

3.3.5.3. Niveles de tensión y corriente

El Alimentador Norte de la red San Cristóbal presenta niveles de tensión dentro del límite de operación normal para una red de distribución ($\pm 5\%$ pu) según la regulación 004/2008 del CONELEC; por otra parte ninguno de los tramos de la alimentadora excede los límites de corriente del conductor usado (245 Amperios) para este caso. El despliegue completo se muestra en el Anexo 3.3. y Anexo 3.4. de este documento.

Para la demanda máxima, se muestran en Tabla 3.6. los niveles de corriente a través de cada uno de los alimentadores de la red. Se puede notar que en el alimentador Sur, se da la mayor demanda de corriente con un porcentaje de cargabilidad del 15%, por otro lado a través del alimentador Norte cruzan niveles de corriente similares llegando a una cargabilidad a través del conductor correspondiente al 14,4%. Este comportamiento es concordante con la característica presentada para las estimaciones de los perfiles de carga de cada alimentador.

Alimentador Norte, I(A)	Alimentador Sur, I(A)	Alimentador Rural, I(A)
33,1	37	13,1
29,6	37	13,1
35,3	37	13,1

Tabla 3.6. Corrientes Totales por Alimentador.

La Figura 3.11, muestra los niveles de corriente a lo largo de un día completo medidos en el tramo 109 de la simulación realizada en el software CYME.

El máximo pico de corriente para este caso, se produce en la fase C del tramo 109 de la red simulado en CYME "Nro. 109" con un nivel de corriente cercano a los 22 Amperios dado alrededor de 18:00 horas del día en curso, correspondiente al 8,6 % de cargabilidad de la línea tomando como referencia los valores nominales de trabajo del conductor usado para simular la red.

La Figura 3.12. presenta el perfil de tensión a lo largo de todo el alimentador norte de la red eléctrica de San Cristóbal. Para este caso de estudio, la mayor caída de voltaje se produce en la fase A, llegando a un nivel de voltaje de 13,733 kV que corresponde a un 0.19 % de caída de tensión respecto a los 13.8 kV nominales del sistema en media tensión, lo que representa un incremento del 0.02 % de caída de tensión que se produjo con referencia al análisis realizado al sistema sin penetración de vehículos eléctricos.

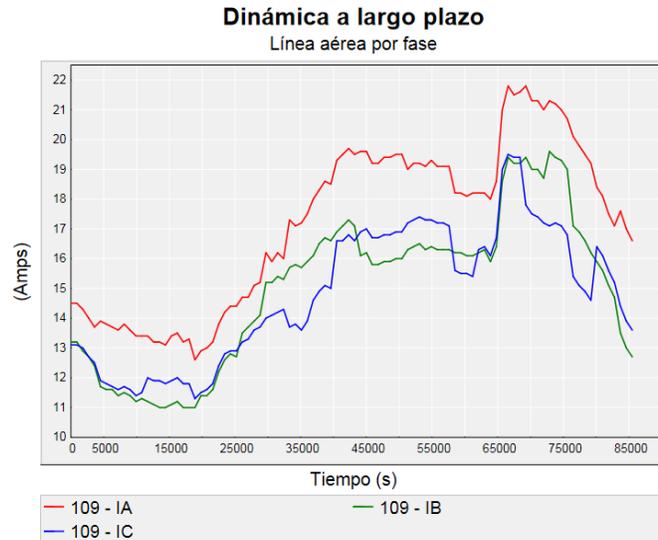


Figura 3.11. Característica de corriente para tramo 109.

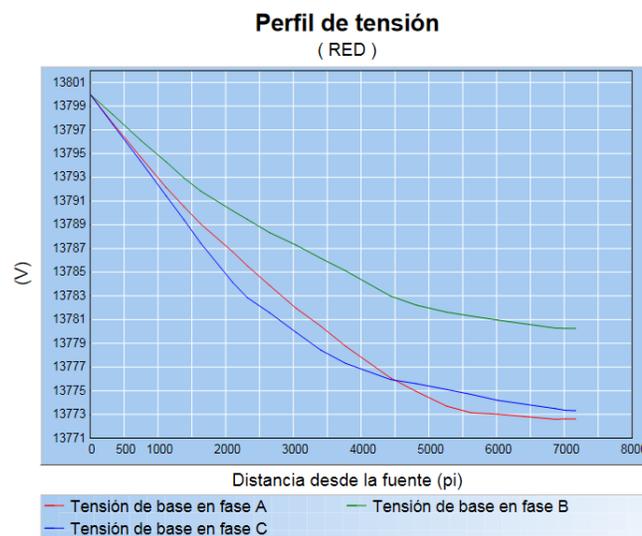


Figura 3.12. Perfil de Tensión a demanda máxima.

3.4. Análisis de cargabilidad de la red eléctrica San Cristóbal con la penetración al 80% de vehículos eléctricos.

3.4.1. Demanda de usuarios para transformadores en Alimentador Norte.

La demanda de usuarios para transformadores fue obtenida a través del algoritmo “*load_estimation_feeder_1*” desarrollado en Matlab modificando el porcentaje de penetración al 80%. Los valores referentes a la demanda máxima por transformador se presentan en el Anexo 1.6.

3.4.2. Demanda de Vehículos Eléctricos (EV)

La demanda de vehículos eléctricos para el sistema, se obtuvo en dos secciones, la primera corresponde a los vehículos de tipo residencial y la segunda corresponde a los vehículos tipo taxis conectados a la red.

3.4.2.1. Estimación del número de vehículos residenciales conectados a la red.

Se presenta la Figura 3.13. que muestra el comportamiento resultante cuando la penetración de vehículos de tipo residencial es de un 80%.

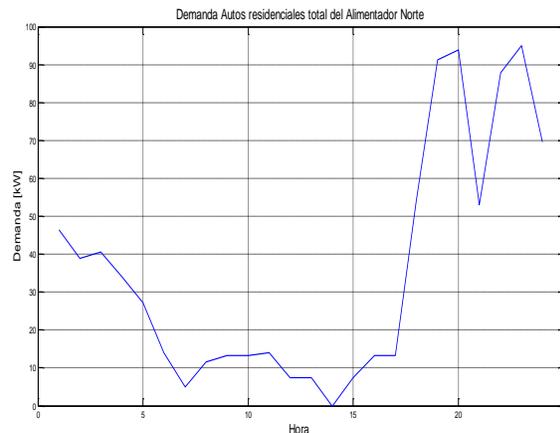


Figura 3.13. Curva de Carga de vehículos eléctricos residenciales.

Existen en el alimentador norte un total de 68 vehículos para una penetración del 80% en EV, para este caso el pico máximo se da alrededor de las 20:00 horas y otro pico a las 23:00 horas con una demanda cercana a los 95 kW; en dicho momento, se encuentran conectados a la red 13 vehículos eléctricos de este tipo. Entre las 7:00 horas y las 17:00 horas la demanda por vehículos de tipo residencial se reduce notablemente, y se mantiene estable por este período. Finalmente, se puede observar que a las 14:00 horas ningún EV se conecta a la red.

La Figura 3.13. presenta la característica de carga en el sistema de vehículos únicamente residenciales asumiendo un comportamiento típico.

3.4.2.2. Estimación del número de vehículos eléctricos tipo taxi conectados a la red.

De acuerdo a la Sección 2.2.4.1, en donde se presenta la metodología usada para la estimación del número de vehículos eléctricos tipo taxi que se encuentran conectados a la red a cualquier hora durante el día a través de la simulación de Monte Carlo se presenta a continuación la característica resultante.

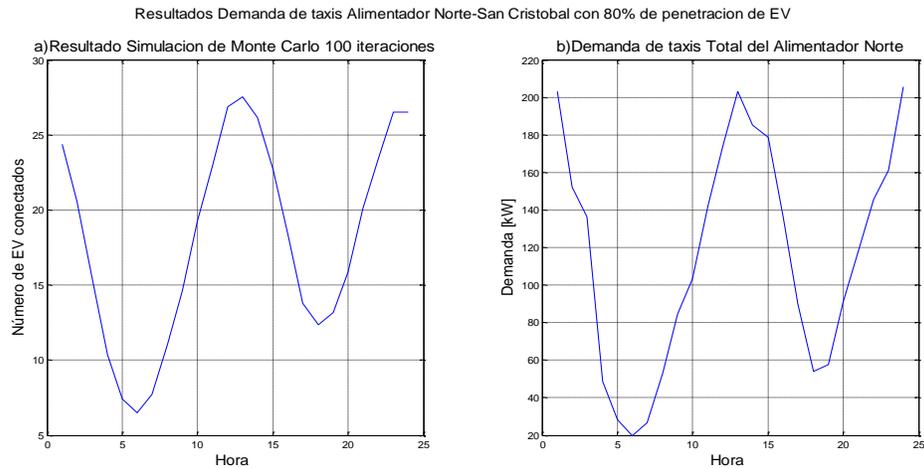


Figura 3.14. a) Resultado Simulación de Monte Carlo con 100 iteraciones con 80% de penetración de EV; b) Demanda total de taxis (EV).

La simulación de Monte Carlo fue realizada para 100 iteraciones como se muestra en la Figura 3.14. a), obteniendo una característica cíclica por día, considerando que el total de taxis en el alimentador norte corresponde a 42, la mayor coincidencia de taxis conectados a la red para este caso es un total de 13 EV alrededor de las 13:00 horas del día.

La máxima coincidencia de EV tipo Taxi conectados cargándose simultáneamente a la misma hora corresponde al 31% aproximadamente, y la mínima al 17%.

En contraste, en la Figura 3.14. b) se presenta los niveles de carga en kW debido a la conexión de los taxis en la red por cada hora del día. El pico máximo de carga se produce a las 13:00 horas con un total de demanda aproximada de 200 kW, y la demanda mínima por taxis es de 20 kW a las 06:00 horas del día.

La Tabla 3.7. presenta las etapas del estado de carga, para la simulación realizada con un porcentaje de 80% de penetración de taxi, así como la cantidad de vehículos en total disponibilidad y el número de vehículos conectados en cada etapa por hora.

Se puede notar que por cada hora el total de vehículos tipo taxi es 42.

Tabla de frecuencias de Etapas SOC Alimentador Norte con 80% de penetración																								
Hora'	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
'Cargados/Disponibles'	12	19	23	35	38	39	37	33	28	26	19	14	10	14	16	22	29	33	33	27	23	19	16	10
'Etapa 1'	2	2	0	0	0	1	4	4	5	2	8	9	8	1	0	2	2	4	1	6	6	6	7	7
'Etapa 2'	3	2	2	0	0	0	1	4	4	5	2	8	9	8	1	0	2	2	4	1	6	6	6	7
'Etapa 3'	12	3	2	2	0	0	0	1	4	4	5	2	8	9	8	1	0	2	2	4	1	6	6	6
'Etapa 4'	4	12	3	2	2	0	0	0	1	4	4	5	2	8	9	8	1	0	2	2	4	1	6	6
'Etapa 5'	9	4	12	3	2	2	0	0	0	1	4	4	5	2	8	9	8	1	0	2	2	4	1	6
Total vehiculos cargandose	30	23	19	7	4	3	5	9	14	16	23	28	32	28	26	20	13	9	9	15	19	23	26	32
Total de Vehiculos	42																							

Tabla 3.7. Tabla de frecuencias de Etapas (SOC).

3.4.3. Estimación del perfil de carga para el alimentador Norte.

Se presenta en la Figura 3.15. el perfil de demanda total del alimentador Norte obtenido a través de la simulación del algoritmo "load_estimation_feeder_1" modificando la penetración al 80 %.

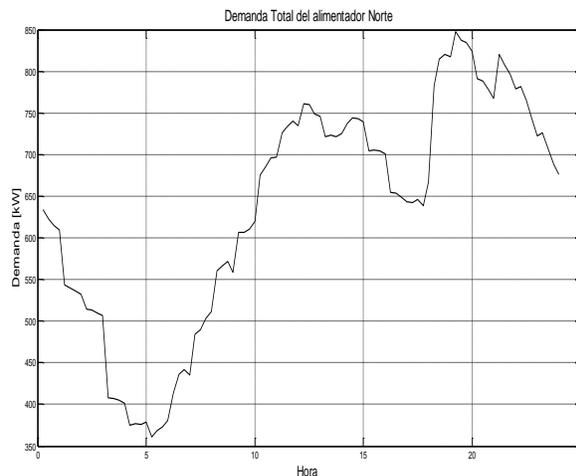


Figura 3.15. Demanda Total del Alimentador Norte.

El pico máximo de demanda para este alimentador es de 847,7 kW alrededor de las 19:25 horas, un segundo pico cercano a 760,7 kW se produce a las 12:25 horas del día. La mínima demanda se produce a las 5:25 horas de la mañana, y llega hasta los 360 kW.

3.4.4. Estimación del perfil de carga para los alimentadores Sur y Zona Rural.

En el alimentador Sur existen un total de 47 taxis y de 52 vehículos residenciales.

En el alimentador Zona Rural existen un total de 18 vehículos residenciales y un total de 120 vehículos eléctricos de carga baja (Renault Twizy). No existe la presencia de taxis para este alimentador.

En la Figura 3.16. se presentan los perfiles de carga resultantes al 80% de penetración en EV.

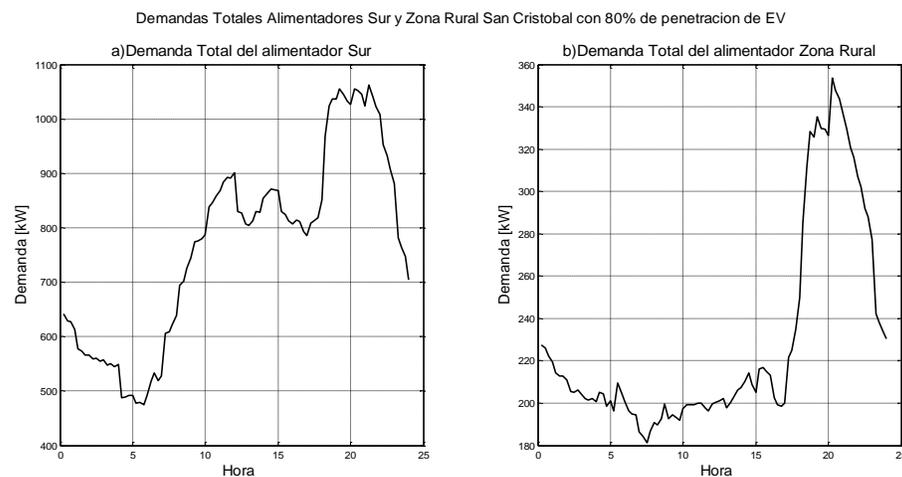


Figura 3.16. - a) Demanda Total del alimentador Sur. b) Demanda Total del alimentador Zona Rural.

El pico de carga máximo del alimentador sur observado en la Figura 3.16 a) llega hasta un valor de 1062 kW, y se da alrededor de las 21:25 horas. Por otro lado en la hora de mayor incidencia en el alimentador Zona Rural Figura 3.16. b) la demanda llega hasta 353,4 kW.

3.4.5. Flujo de carga red San Cristóbal con 80% de penetración de vehículos eléctricos.

La curva de demanda para cada transformador resulta de la simulación del algoritmo *"load_estimation_feeder_1"*, considerando una penetración del 80% de vehículos eléctricos en la isla, para cada uno de los alimentadores.

La Figura 3.17. presenta los perfiles de carga para los 41 transformadores del alimentador norte.

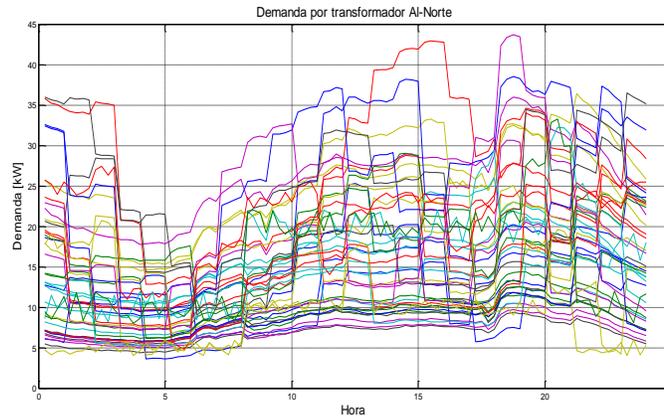


Figura 3.17. Curvas de demanda por transformador.

La demanda máxima resultante alcanza un valor de 44 kW para el transformador 40 del alimentador Norte.

En el Anexo 1.3., se muestran los valores de carga por transformador durante la hora de demanda máxima del sistema, alrededor de las 19:25 horas, información usada para la simulación del flujo de carga con 80 % de penetración de EV.

A continuación, se presentan los resultados del flujo de carga bajo estas condiciones.

3.4.5.1. Generación

La simulación considera la estimación de carga que incluye la penetración de 80% de vehículos eléctricos para las tres alimentadoras de la red eléctrica San Cristóbal.

Un total de 2243 kW y un total de 962 kVAR son generados para abastecer al total de demanda máxima presente en la isla. Una corriente equivalente de 102 Amperios por fase, cruzan por los terminales de la unidad de generación equivalente.

La Figura 3.18. presenta la característica de generación de potencia total en kVA a lo largo del día.

Código	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Fp promedio (%)	IEquil (Amps)	IA (Amps)	IB (Amps)	IC (Amps)
Subestación	2243	962	2441	91,9	102,1	104,1	98,6	103,7

Tabla 3.8. Características de generación para servir a la red San Cristobal.

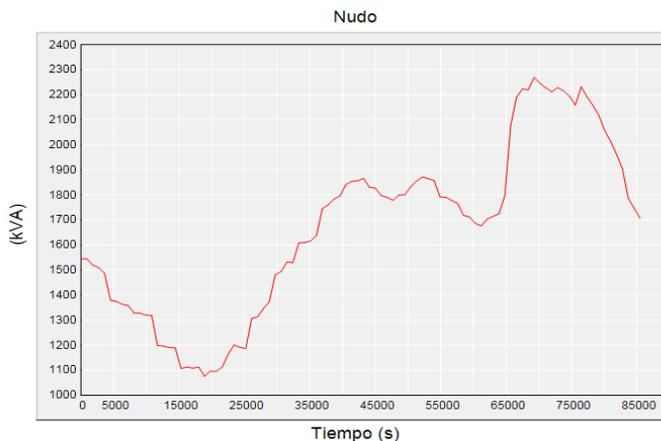


Figura 3.18. Generación Total.

El mayor nivel de generación es de 2441 kVA aproximadamente, el cual no sobrepasa la capacidad nominal de generación en la isla. Cabe recalcar que están siendo considerados los tres alimentadores de la isla.

3.4.5.2. Transformadores

La Tabla 3.9. presenta la cargabilidad de los transformadores pertenecientes al alimentador Norte que se encuentran en un porcentaje de carga mayor al 70%.

Los transformadores 5, 17,40 y 29 se encuentran sobrecargados para esta condición de trabajo del sistema, debido al incremento de vehículos conectados en la red.

Por otro lado, los transformadores 6, 24, 35 y 13 llegan a su límite de cargabilidad operacional, de tal manera que para la hora siguiente a la del análisis no pueden abastecer otro incremento de carga, a menos que su carga disminuya significativamente.

Nro. equipo	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Fp promedio (%)	IEquil (Amps)	Desfase I	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kVAR)	Carga (%)
T5	36	16	39	91,53	4,9	-23,81	0,2	0,6	102,8
T6	32	14	35	91,59	4,4	-23,72	0,2	0,5	92,9
T10	27	12	30	91,66	3,8	-23,65	0,2	0,3	79,2
T17	35	15	38	91,55	4,8	-23,84	0,2	0,6	100,4
T24	34	15	37	91,55	4,7	-23,84	0,2	0,5	98,7
T38	25	11	28	91,69	3,5	-23,66	0,1	0,3	73,1
T40	37	16	40	91,51	5,1	-23,91	0,2	0,6	106,6
T37	28	12	30	91,65	3,8	-23,7	0,2	0,4	79,8
T35	35	15	38	91,55	4,8	-23,84	0,2	0,6	99,9
T29	37	17	41	91,51	5,1	-23,9	0,2	0,6	107,9
T13	32	14	35	91,59	4,4	-23,76	0,2	0,5	92,5

Tabla 3.9. Transformadores con mayor cargabilidad del Alimentador Norte.

3.4.5.3. Niveles de tensión y corriente

El Alimentador Norte de la red San Cristóbal presenta niveles de tensión dentro del límite de operación normal para una red de distribución ($\pm 5\%$ pu) según la regulación 004/2008 del CONELEC; por otra parte ninguno de los tramos de la alimentadora excede los límites de corriente del conductor usado (245 Amperios) en media. El despliegue completo se muestra en el Anexo 3.5 y Anexo 3.6 de este documento.

La Tabla 3.10. muestra los niveles de corriente a través de cada uno de los alimentadores de la red. El alimentador Sur tiene un porcentaje de cargabilidad del 19,6% respecto a los valores nominales del conductor usado, y el alimentador Norte posee una cargabilidad a través del conductor correspondiente al 16,3%, el comportamiento es concordante con la característica presentada en las estimaciones de los perfiles de carga.

La Figura 3.19. muestra los niveles de corriente para un día completo en el tramo 109 de la simulación realizada en CYME.

Alimentador Norte, I(A)	Alimentador Sur, I(A)	Alimentador Rural, I(A)
40,9	48	15,2
35,4	48	15,2
40,4	48	15,2

Tabla 3.30. Corrientes Totales por Alimentador.

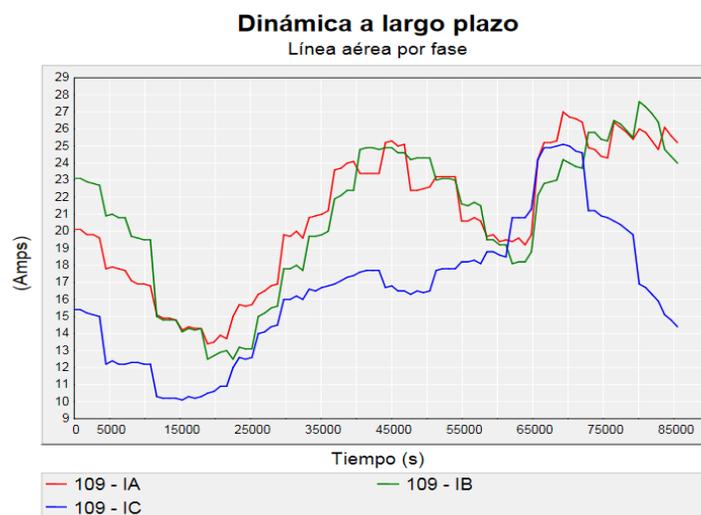


Figura 3.19. Característica de corriente para tramo 109.

El mayor nivel de corriente se produjo en la fase B para el tramo 109 con un valor de 27,5 Amperios a las 22:22 horas del día en estudio, correspondiente al 11,22% de cargabilidad de la línea.

La Figura 3.20. presenta el perfil de tensión a lo largo del alimentador Norte, donde la mayor caída de voltaje se produce en la fase A, llegando a un nivel de voltaje de 13,766 kV que corresponde a un 0.25% de caída de tensión; representando un incremento del 0.08% de caída de tensión se produjo con referencia al análisis realizado al sistema sin penetración de EV.

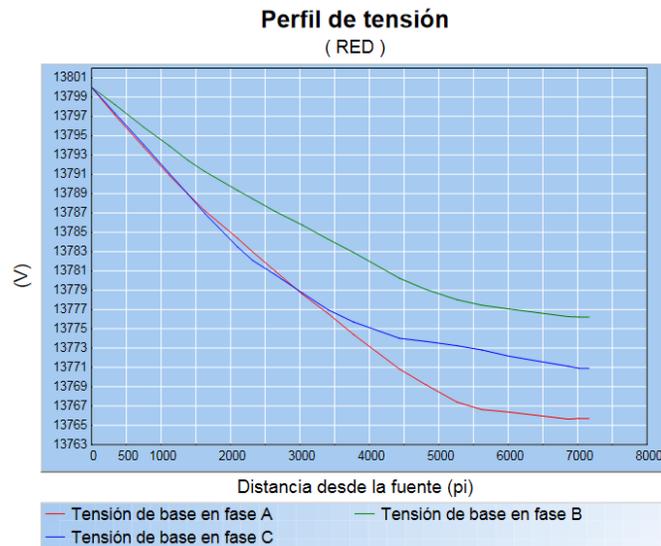


Figura 3.20. Perfil de Tensión a demanda máxima.

3.5. Análisis de cargabilidad de la red eléctrica San Cristóbal con la penetración al 100% de vehículos eléctricos.

3.5.1. Demanda de usuarios para transformadores en Alimentador Norte.

La demanda de usuarios para transformadores fue obtenida a través del algoritmo “*load_estimation_feeder_1*” desarrollado en Matlab modificando el porcentaje de penetración al 100%. Los valores referentes a la demanda máxima por transformador se presentan en el Anexo 1.7.

3.5.2. Demanda de Vehículos Eléctricos (EV)

La demanda de vehículos eléctricos para el sistema, se obtuvo en dos secciones, la primera corresponde a los vehículos de tipo residencial y la segunda corresponde a los vehículos tipo taxis conectados a la red.

3.5.2.1. Estimación del número de vehículos residenciales conectados a la red.

La Figura 3.21. muestra el comportamiento resultante del algoritmo desarrollado en Matlab, cuando la penetración de vehículos de tipo residencial es de un 100%.

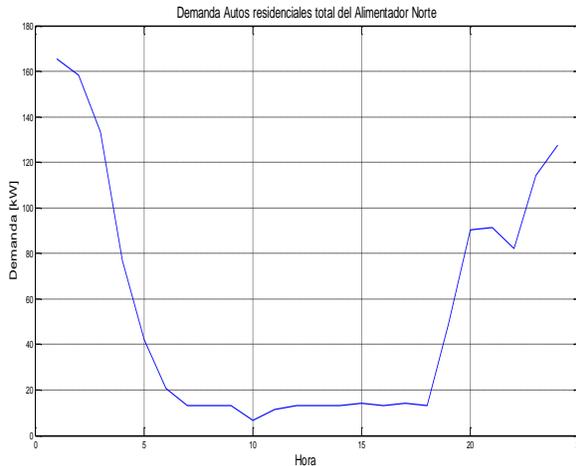


Figura 3.21. Curva de Carga de vehículos eléctricos residenciales.

En el alimentador norte existen un total de 87 vehículos con 100% de penetración en EV, la demanda máxima por carga de vehículos residenciales se produce alrededor de las 01:00 horas con una demanda de 166 kW, se encuentran conectados a la red 13 vehículos eléctricos de tipo residencial. La carga mínima ocurre alrededor de las 10:00 horas, cuando tan solo un vehículo se conecta a la red, con una potencia de 6,6 kW.

3.5.2.2. Estimación del número de vehículos eléctricos tipo taxi conectados a la red, Alimentador Norte.

De acuerdo a la Sección 2.2.4.2, en donde se presenta la metodología usada para la estimación del número de vehículos eléctricos tipo taxi que se encuentran conectados a la red a cualquier hora durante el día a través de la simulación de Monte Carlo. Se presenta a continuación la característica resultante.

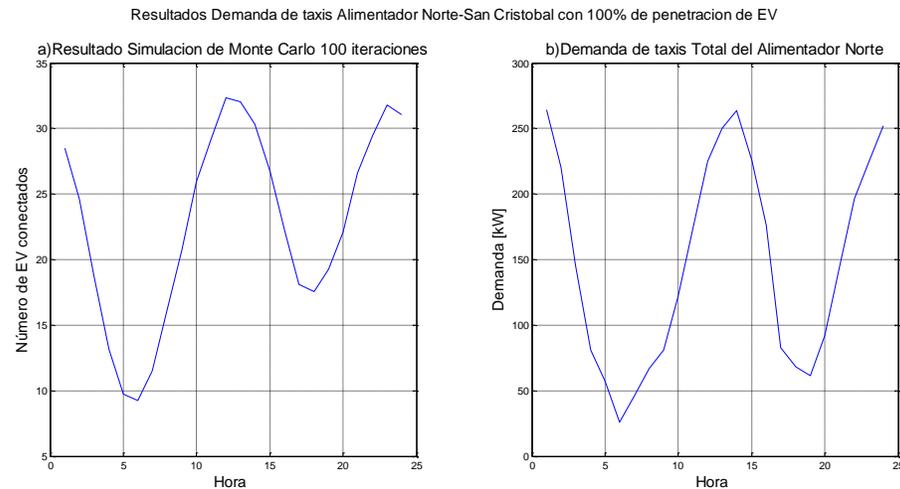


Figura 3.22. a) Resultado Simulación de Monte Carlo con 100 iteraciones con 100% de penetración de EV; b) Demanda total de taxis (EV).

La simulación de Monte Carlo fue realizada para 100 iteraciones como se muestra en la Figura 3.22. a), considerando que el total de taxis en el alimentador norte corresponde a 53. La mayor coincidencia de taxis conectado a la red, es un total de 33 EV alrededor de las 12:00 horas del día.

La máxima coincidencia de EV tipo Taxi conectados cargándose simultáneamente a la misma hora corresponde al 63% aproximadamente, y la mínima al 19%.

La Figura 3.22. b) presenta el pico máximo de carga de taxi, el cual se produce a las 13:00 horas con un total de demanda aproximada de 264 kW, y la demanda mínima por taxis de 26 kW a las 06:00 horas del día.

La Tabla 3.11. presenta las etapas del estado de carga, para la simulación realizada con un porcentaje de 100% de penetración de taxi, así como la cantidad de vehículos en total disponibilidad y el número de vehículos conectados en cada etapa por hora.

Se puede notar que por cada hora el total de vehículos tipo taxi es de 53.

Tabla de frecuencias de Etapas SOC Alimentador Norte con 100% de penetración																								
Hora'	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
'Cargados/Disponibles'	13	21	32	41	45	49	45	42	40	33	25	16	14	13	20	28	41	42	43	38	29	22	17	14
'Etapa 1'	5	1	1	1	0	1	5	4	3	7	9	14	6	4	0	1	1	5	3	5	10	8	10	6
'Etapa 2'	4	5	1	1	1	0	1	5	4	3	7	9	14	6	4	0	1	1	5	3	5	10	8	10
'Etapa 3'	10	4	5	1	1	1	0	1	5	4	3	7	9	14	6	4	0	1	1	5	3	5	10	8
'Etapa 4'	12	10	4	5	1	1	1	0	1	5	4	3	7	9	14	6	4	0	1	1	5	3	5	10
'Etapa 5'	9	12	10	4	5	1	1	1	0	1	5	4	3	7	9	14	6	4	0	1	1	5	3	5
Total vehiculos cargandose	40	32	21	12	8	4	8	11	13	20	28	37	39	40	33	25	12	11	10	15	24	31	36	39
Total de Vehiculos	53																							

Tabla 3.11. Tabla de frecuencias de Etapas (SOC).

3.5.3. Estimación del perfil de carga para el alimentador Norte.

Se presenta en la Figura 3.23. el perfil de demanda total del alimentador Norte obtenido a través de la simulación del algoritmo “*load_estimation_feeder_1*” modificando la penetración al 100 %.

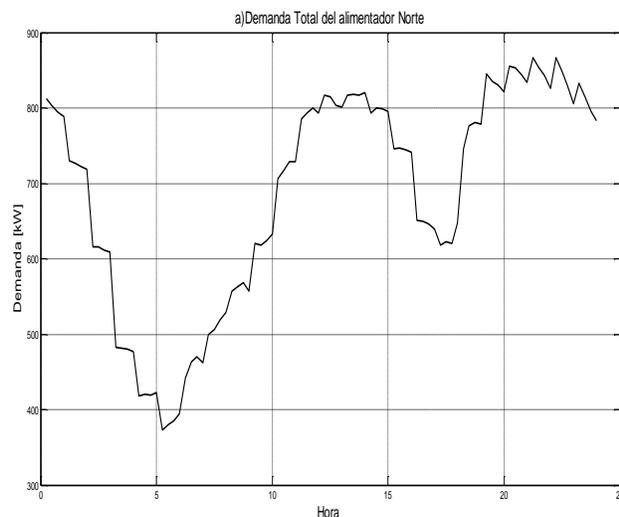


Figura 3.23. Demanda Total del Alimentador Norte.

La Figura 3.23. muestra la demanda total en el alimentador norte durante las 24 horas, el pico máximo de demanda para este alimentador es de 867 kW alrededor de las 21:25 horas, se presenta una característica cíclica, además un segundo pico de 820 kW se produce a las 14:00 horas del día de estudio, por otro lado la mínima demanda se produce a las 5:25 horas de la mañana, y llega hasta los 372,5 kW.

3.5.4. Estimación del perfil de carga para los alimentadores Sur y Zona Rural.

En el alimentador Sur existen un total de 57 taxis y 61 vehículos residenciales.

En el alimentador Zona Rural existen un total de 25 vehículos residenciales y un total de 150 vehículos eléctricos de carga baja (Renault Twizy). No existe la presencia de taxis para este alimentador.

En la Figura 3.24. se presentan los perfiles de carga resultantes al 100% de penetración para los alimentadores Sur y Zona Rural respectivamente.

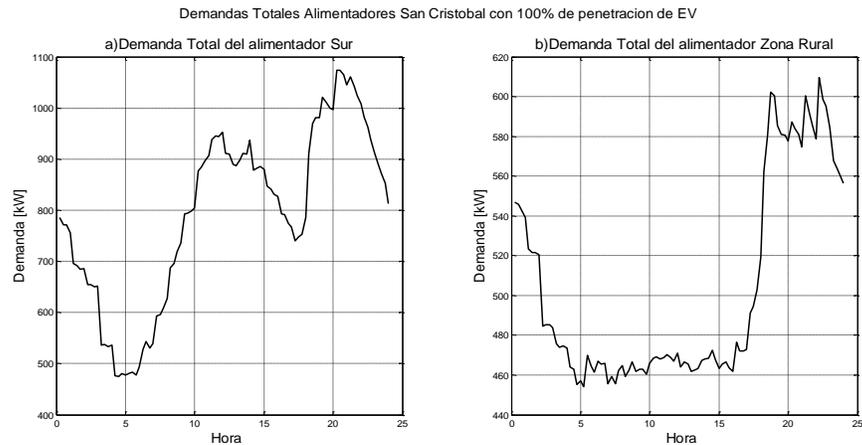


Figura 3.24. a) Demanda Total del alimentador Sur. b) Demanda Total del alimentador Zona Rural.

El pico de carga máximo del alimentador sur de la Figura 3.24. a) llega hasta un valor de 1074 kW, y se da alrededor de las 20:25 horas; por otro lado, en la hora de mayor incidencia en el alimentador Zona Rural (Figura 3.24. b), la demanda llega hasta 609,6 kW a la 22:25 horas.

3.5.5. Flujo de carga para la red San Cristóbal con 100% de penetración de vehículos eléctricos.

La curva de demanda para cada transformador resulta de la simulación del algoritmo “load_estimation_feeder_1”, considerando una penetración del 100% de vehículos eléctricos para los alimentadores de la red.

La Figura 3.25. presenta los perfiles de carga para los 41 transformadores del alimentador norte.

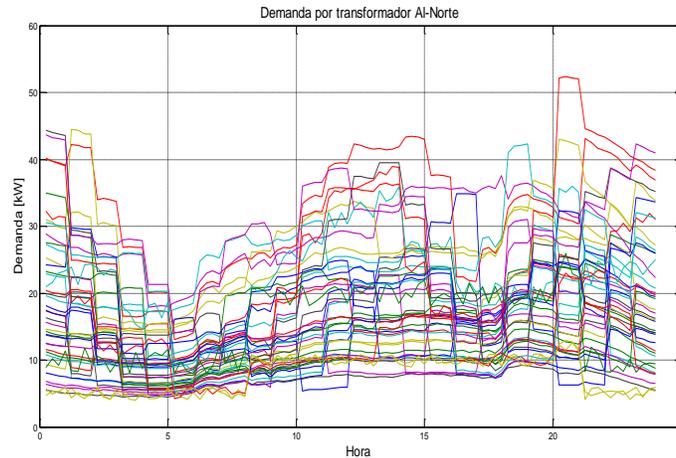


Figura 3. 25. Curvas de demanda por transformador.

La demanda máxima resultante alcanza un valor de 53 kW para el transformador 17 del alimentador Norte.

En el Anexo 1.4, se muestran los valores de carga por transformador durante la hora de demanda máxima del sistema, alrededor de las 21:25 horas, información usada para la simulación del flujo de carga con 100 % de penetración de EV.

A continuación, se presentan los resultados del flujo de carga bajo estas condiciones.

3.5.5.1. Generación

La simulación considera la estimación de carga que incluye la penetración de 100% de vehículos eléctricos para las tres alimentadoras de la red eléctrica San Cristóbal.

Un total de 2268 kW y un total de 992 kVAR son generados para abastecer al total de demanda máxima presente en la isla. Una corriente equivalente de 104 Amperios por fase, cruzan por los terminales de la unidad de generación equivalente.

Código	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Fp promedio (%)	IEquil (Amps)	IA (Amps)	IB (Amps)	IC (Amps)
Subestación	2268	992	2475	91,61	103,5	103,0	99,3	108,3

Tabla 3.12. Características de generación para servir a la red San Cristobal.

La Figura 3.26. presenta la característica de generación de potencia total en kW a lo largo del día.

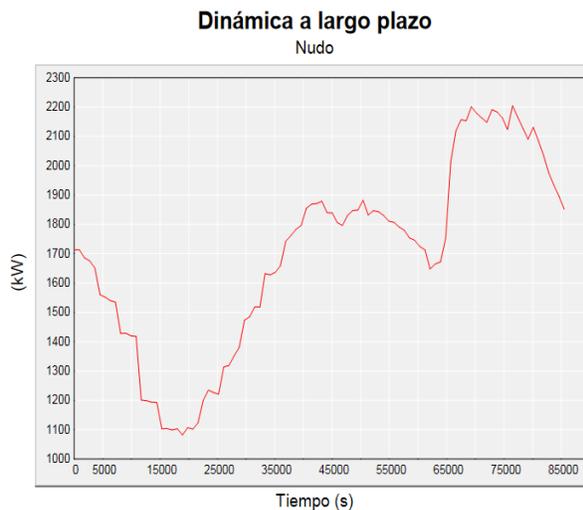


Figura 3.26. Generación Total.

El mayor nivel de generación es de 2268 kW, manteniéndose en los límites de la capacidad nominal de generación de la isla. Cabe recalcar que están siendo considerados los tres alimentadores de la isla.

3.5.5.2. Transformadores

La Tabla 3.13. presenta la cargabilidad de los transformadores pertenecientes al alimentador Norte que se encuentran en un porcentaje de carga mayor al 70 %.

Equipo	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Fp promedio (%)	IEquil (Amps)	Desfase I	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kVAR)	Carga (%)
T2	25	11	28	91,69	3,5	-23,54	0,1	0,3	72,9
T4	27	12	30	91,66	3,7	-23,6	0,2	0,3	78,7
T5	34	15	37	91,56	4,6	-23,78	0,2	0,5	97,3
T6	30	13	33	91,61	4,2	-23,68	0,2	0,4	87,7
T10	44	20	49	91,4	6,1	-24,01	0,3	0,9	127,7
T15	26	12	29	91,67	3,6	-23,6	0,1	0,3	76,3
T16	25	11	27	91,7	3,4	-23,6	0,1	0,3	70,9
T17	48	33	58	81,84	7,3	-35,19	0,4	1,3	152,2
T18	33	14	36	91,58	4,5	-23,8	0,2	0,5	94,1
T20	28	18	34	83,81	4,3	-33,18	0,2	0,4	89,3
T22	25	11	28	91,69	3,5	-23,61	0,1	0,3	72,7
T40	34	15	37	91,56	4,7	-23,86	0,2	0,5	97,9
T35	35	16	39	91,54	4,9	-23,84	0,2	0,6	102,1
T13	37	16	40	91,52	5,1	-23,87	0,2	0,6	106,1
T11	26	11	29	91,67	3,6	-23,62	0,1	0,3	76

Tabla 3.13. Transformadores con mayor cargabilidad del Alimentador Norte.

Los transformadores 10, 17, 35 y 13 cuando la penetración de vehículos eléctricos es de 100% se encuentran sobrecargados hasta en un 50% más que su capacidad nominal como es el caso del transformador 17. El estado en que los autos se conectan al sistema depende particularmente del estudio de comportamiento de usuarios planteado en este estudio.

Por otro lado, los transformadores 5, 6, 18, 20 y 40 llegan a su límite de cargabilidad operacional, para la hora analizada. Un incremento de carga implicaría problema de funcionamiento y sobrecarga en los transformadores mencionados.

3.5.5.3. Niveles de tensión y corriente

Los niveles de voltaje y corriente en media tensión para el alimentador Norte se encuentran dentro de los límites especificados por la normativa vigente CONELEC 004/2014. El despliegue completo de dichos valores por fase se muestra en el Anexo 3.7 y Anexo 3.8. de este documento.

Se expandió el estudio para baja tensión en el transformador 17 del Alimentador Norte de la red eléctrica San Cristóbal, para identificar los problemas que se puede presentar a este nivel de tensión con el ingreso de vehículos eléctricos.

De acuerdo al flujo de carga en los transformadores, el transformador 17 tiene un porcentaje de carga de 152 % para la demanda máxima con 100% en EV. Para esta hora específica existen un total de 4 vehículos conectados coincidentes. Teniendo conocimiento de estas condiciones de trabajo, se presentan los niveles de tensión medidos en los nodos de cada usuario (30 usuarios finales) con mayor afectación en el Anexo 2.1

La Tabla 3.14. muestra los niveles de corriente a través de cada uno de los alimentadores de la red. El alimentador Sur tiene un porcentaje de cargabilidad del 19,7% respecto a los valores nominales del conductor usado, por otro lado, el alimentador Norte posee una cargabilidad a través del conductor correspondiente al 16,32 %.

Alimentador Norte, I(A)	Alimentador Sur, I(A)	Alimentador Rural, I(A)
40	48,3	15
36,1	48,3	15
45,1	48,3	15

Tabla 3.14. Corrientes Totales por Alimentador.

La Figura 3.28. , muestra los niveles de corriente para un día completo en el tramo 109 de la simulación realizada en CYME.

El mayor nivel de corriente se produjo en la fase A para el tramo 109 con un valor de 26,5 Amperios a las 19:15 horas del día en estudio, correspondiente al 10,81 % de cargabilidad de la línea.

La Figura 3.29. presenta el perfil de tensión a lo largo del alimentador Norte, donde la mayor caída de voltaje se produce en la fase A, llegando a un nivel de voltaje de 13,765 kV que corresponde a un 0.254% de caída de tensión; representando un incremento del 0.084% de caída de tensión se

produjo con referencia al análisis realizado al sistema sin penetración de EV.

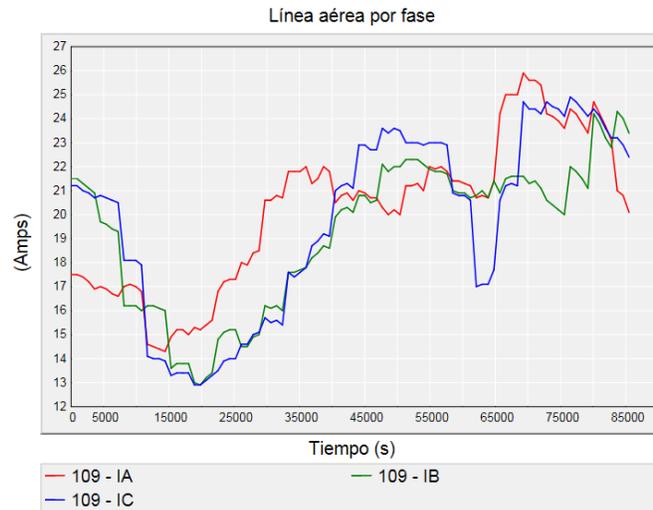


Figura 3.27. Característica de corriente para tramo 109.

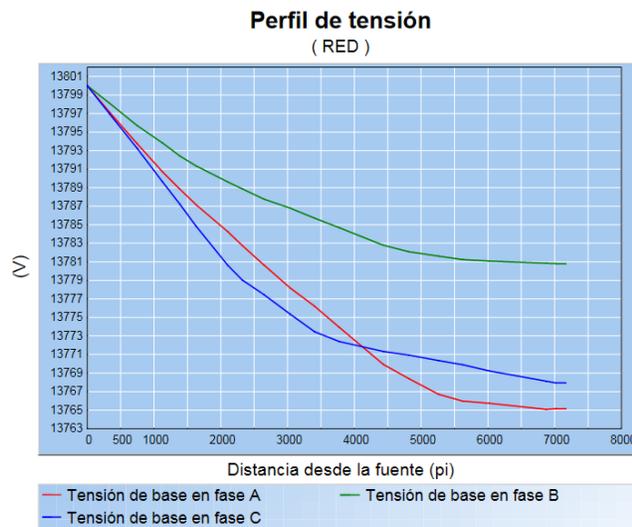


Figura 3.28. Perfil de Tensión a demanda máxima.

3.6. Respuesta del Modelo de simulación para un Vehículo Eléctrico (EV)

De acuerdo a la metodología presentada en la Sección 2.3, se desarrolló la simulación en Matlab Simulink, haciendo uso de la librería SimPowerSystems, para el correcto modelaje del comportamiento eléctrico de un EV.

El diagrama esquemático, planteado para los convertidores y el paquete de baterías usado se presenta en la Figura 3.29.

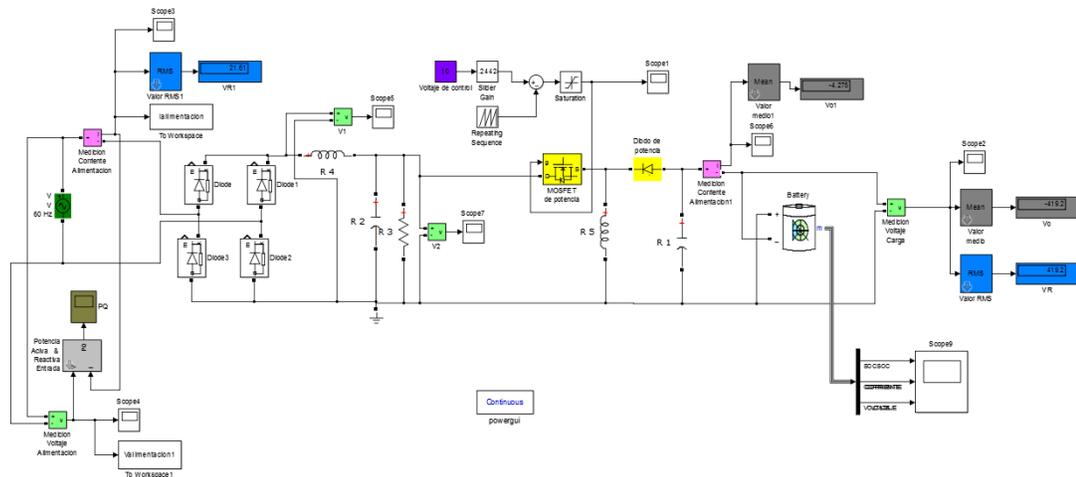


Figura 3.29. Diagrama Esquemático de Simulación para un vehículo Eléctrico.

Simulink permite establecer el tiempo total de simulación, mismo que se estableció 200 segundos tomando como condición inicial para el bloque de baterías un 10% de su carga total.

Debido a la naturaleza de los elementos electrónicos usados, la señal de corriente que alimenta al sistema sufre distorsión durante cada ciclo. La Figura 3.30. muestra la onda de corriente medida a la salida de la fuente del sistema durante cuatro ciclos (1 ciclo=16,67ms). La medición mostrada comienza alrededor de los 1.5 segundos de la simulación.

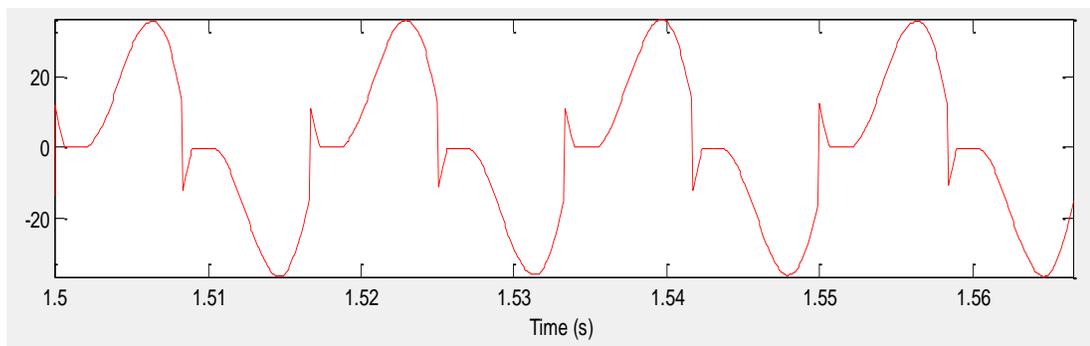


Figura 3.30. Señal de Corriente que alimenta al vehículo Eléctrico.

Una vez obtenida la señal, se ejecutó a través de la misma herramienta computacional Matlab Simulink el Análisis Rápido de Fourier (FFT) para conocer el contenido de armónicos presente en la señal de corriente que alimenta al

vehículo eléctrico. El análisis fue realizado durante los cuatro ciclos de medición presentados en la Figura 3.30., los resultados se presentan en la Tabla 3.15.

Orden de Armónico	Frecuencia (Hz)	C. Fundamental (%)	Ángulo (°)
1	60 (Fundamental)	100	-37,2
3	180	33,75	50,7
5	300	12,6	36,3
7	420	7,63	34,1
9	540	6,2	30,7
11	660	5,44	23,9
13	780	4,78	15,7
15	900	4,14	8,6

Tabla 3.15. Resultados para FFT en corriente de la red.

Anexo a estos resultados se tiene que la corriente fundamental RMS de la onda es 20.08 Amperios, llegando a un valor pico de 28.39 Amperios. Siendo valores concordantes con la corriente estipulada para los estándares de carga en vehículos eléctricos.

De acuerdo al FFT realizado, el Total de Distorsión Armónica en la señal de corriente de la red para la carga de un vehículo eléctrico, según las características planteadas, es de 39,61 %.

Se observa en la Tabla 3.15. que los armónicos de orden tres, cinco y siete son los de mayor incidencia en la distorsión armónica total de la corriente que sale desde la fuente principal.

A continuación se presenta el diagrama de barras correspondiente a los armónicos en función de la corriente fundamental (%).

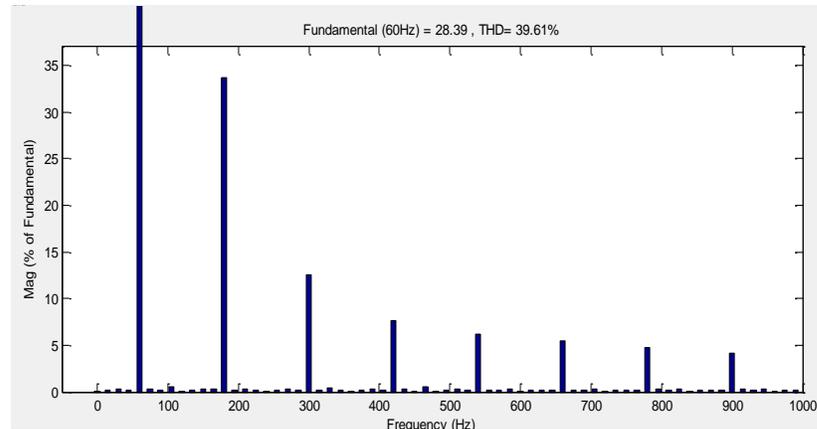


Figura 3.31. Diagrama de Barras de Armónicos en porcentaje de la Corriente Fundamental.

En la Figura 3.31., se muestra el comportamiento para cada armónico, de los cuales los armónicos de orden impar son los de mayor porcentaje; el restante tiene menor influencia incluso su efecto podría ser despreciado.

Los resultados de la simulación en Matlab Simulink del conjunto convertidor-batería de un vehículo eléctrico serán usados en la simulación en CYME para el estudio del impacto de armónicos de la red eléctrica San Cristóbal.

3.7. Impacto de armónicos en la Red San Cristóbal de baja tensión por ingreso de vehículos eléctricos (EV).

3.7.1. Evaluación en baja tensión, variando el número de vehículos eléctricos conectados a la red.

Los resultados de distorsión armónica en corrientes y voltajes por la conexión de un vehículo eléctrico para la hora de pico máximo del sistema en el transformador 17 se muestran a continuación.

En la Tabla 3.16. se muestran los porcentajes de distorsión armónica del voltaje de los nodos principales de la red en baja tensión secundaria del transformador 17 para el ingreso creciente de vehículos eléctricos en la misma; manteniendo la demanda por usuarios constante para cada caso presentado.

ID de nodo	THD Voltaje (%)				
	1 EV Inicio Alm.	1 EV Fin Alm.	2 EV en Alm.	3EV en Alm.	4EV en Alm.
#1-C	16.55	16.66	32.83	48.75	64.36
#10-C	16.76	17.63	34.32	51.67	70.83
#2-C	16.78	16.90	33.41	49.80	66.02
#3-C	16.77	17.13	33.70	50.54	67.34
#4-C	16.76	17.38	34.01	51.28	68.70
#5-C	16.76	17.63	34.32	51.67	69.64
#6-C	16.76	17.89	34.64	52.06	70.11
#7-C	16.90	16.90	33.55	49.98	66.23
#8-C	16.77	17.13	33.70	50.53	67.34
#9-C	16.76	17.38	34.01	52.05	69.62

Tabla 3.16. Distorsión armónica total de voltaje en nodos principales para baja tensión.

El tipo de auto que se conecta a esta red puede ser un taxi o un vehículo de tipo residencial de los modelos Nissan Leaf o SoulEV, los cuales como se indicó anteriormente poseen características similares.

Se observa que, la distorsión armónica total (THD) con el ingreso de un vehículo eléctrico supera los límites establecidos por Std. IEEE 519-2014.

Para la simulación se colocó un EV como caso de estudio inicial, en el primer usuario más cercano al transformador y como segunda evaluación colocando el vehículo en el usuario final, conectado al último nodo del sistema, es decir su ubicación es la más distante al transformador.

Si se compara ambos casos, para el EV colocado al final de alimentador se produce mayor distorsión en los nodos principales del red, en relación a si este es colocado al inicio de alimentador, coincidiendo en ambos que los límites de distorsión permitidos son superados.

Para los siguientes casos, se incrementó el número de vehículos eléctricos conectados al transformador, hasta tener un total d 4 vehículos en la red. La distorsión armónica total en voltaje se incrementa en relación directa al número de vehículos. Si evaluamos las condiciones de operación con más de un vehículo conectado a la red, los niveles de calidad de potencia no

son aceptables, pudiendo ocasionar daños en equipos, sobrecargas, mal funcionamiento, entre otros.

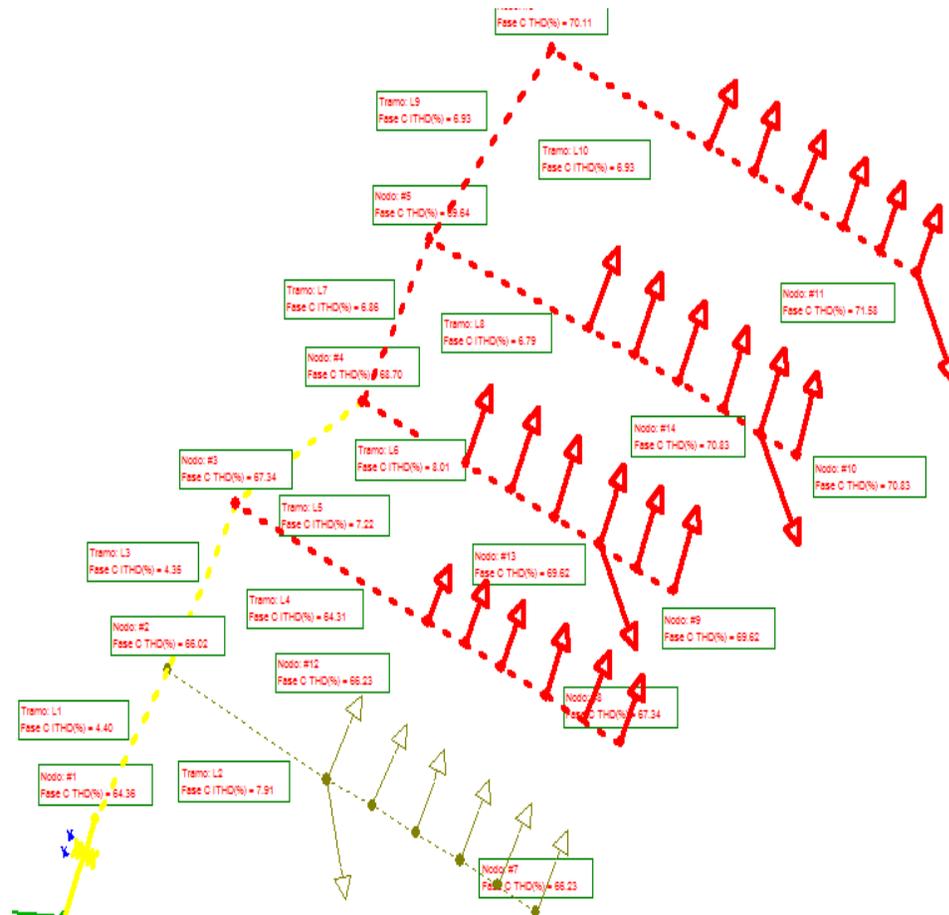


Figura 3.32. Flujo de Carga con corrientes armónicas para 4 vehículos eléctricos conectados en la red secundaria del transformador 17.

La Tabla 3.17. presenta los porcentaje de distorsión armónica de corriente para algunos alimentadores de la red secundaria del transformador 17 para los casos descritos anteriormente.

La presencia de corrientes armónicas en los alimentadores de la red de baja tensión genera la necesidad de la implementación de un filtro capaz de mitigar los efectos armónicos y mantener el sistema dentro de los límites aceptables de calidad de la energía.

Líneas	THD Corriente (%)				
	1EV en Inicio Alm.	1EV en Fin Alm.	2EV en Alm.	3EV en Alm.	4EV en Alm.
L1-C	2.33	2.31	3.46	4.07	4.40
L1-N	2.33	2.31	3.46	4.07	4.40
L10-C	16.00	21.15	16.35	11.49	6.93
L10-N	16.00	21.15	16.35	11.49	6.93
L2-C	21.56	16.13	16.79	12.20	7.91
L2-N	21.56	16.13	16.79	12.20	7.91
L3-C	16.00	4.01	7.71	4.88	4.35
L3-N	16.00	4.01	7.71	4.88	4.35
L4-C	16.01	16.36	32.18	48.25	64.31
L4-N	16.01	16.36	32.18	48.25	64.31
L5-C	16.00	7.38	4.00	5.04	7.22
L5-N	16.00	7.38	4.00	5.04	7.22
L6-C	16.00	16.59	32.47	12.46	8.01
L6-N	16.00	16.59	32.47	12.46	8.01
L7-C	16.00	12.44	5.67	5.24	6.86
L7-N	16.00	12.44	5.67	5.24	6.86
L8-C	16.00	16.83	32.77	49.34	6.79
L8-N	16.00	16.83	32.77	49.34	6.79
L9-C	16.00	21.15	16.35	11.49	6.93
L9-N	16.00	21.15	16.35	11.49	6.93

Tabla 3.17. Distorsión armónica total de corriente en líneas principales para baja tensión.

3.7.2. Diseño de filtro de armónicos Sintonizado Simple para un vehículo eléctrico.

Utilizando las ecuaciones presentadas en la Sección 2.6.4.1 se calcularon los parámetros del filtro para armónicos del vehículo eléctrico. Este se conforma por tres filtros sintonizados simples para tercer, quinto y séptimo armónico respectivamente como se muestra en la Tabla 3.18.

	Capacidad	Resistencia	Inductancia	Capacitancia	Factor de Calidad
Orden de Armónico	Qc [kVAR]	R [Ohm]	L [mH]	C [uF]	Q
3	6	0,045	0,7957	982,438	20
5	3	0,05	0,5305	530,516	20
7	2	0,025	0,3978	360,896	20
Capacidad Total	11				

Tabla 3.18. Parámetros para filtro Sintonizado Simple para un vehículo eléctrico.

Se escogió un filtro con un Factor de Calidad igual a 20, y la capacidad del filtro se la calculó en función de potencia reactiva que consume el vehículo eléctrico con factor de potencia 0,75. Como se muestra en la **Figura 3.33.**, la potencia reactiva que consume el EV es igual 5,8 kVAR cuando este se carga con una potencia de 6,6 kW.

La conexión de EV a la red de baja tensión produce caídas de voltaje a lo largo del alimentador, por ende el filtro tendrá la capacidad para compensar los reactivos de la red a frecuencia fundamental más los reactivos a frecuencias armónicas para regular el voltaje y filtrar los armónicos. La capacidad nominal fue escogida tomando estas consideraciones, de acuerdo a la Tabla 3.18.

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR
A							
B							
C	13673,0		0,1	64,1	8,8	6,6	5,8
Total:					9	7	6

Figura 3.33. Potencia consumida por un EV obtenida desde CYME.

A continuación en la Tabla 3.19. se muestran los resultados de distorsión armónica total en señal de voltajes en los nodos principales usando el filtro diseñado, obteniendo los resultados esperados, al el total de distorsión

armónica dentro de los límites establecidos por el Std. IEEE 519.2014, y la regulación de voltaje deseada. Además, en el Anexo 2.2. se presentan los niveles de distorsión armónica en la onda de corriente con la utilización de los filtros.

ID de nodo	THD Voltaje (%)	
	1 EV en Alm.	4 EV en Alm.
#1-C	2.22	2.71
#10-C	2.22	2.79
#11-C	2.22	2.80
#12-C	2.26	2.74
#13-C	2.23	2.78
#14-C	2.22	2.79
#2-C	2.24	2.74
#3-C	2.23	2.75
#4-C	2.23	2.77
#5-C	2.22	2.78
#6-C	2.22	2.79
#7-C	2.26	2.74
#8-C	2.23	2.75
#9-C	2.23	2.78

Tabla 3.19. THD en nodos principales, con implementación de filtros.

En la Figura 3.34. se muestran los resultados en CYME con cuatro vehículos conectados en diferentes puntos de la red de baja tensión en el transformador 17 con el filtro implementado.

La capacidad del filtro se la calculó, considerando que este va a contribuir a la regulación de la red. Es importante mencionar que para un incremento considerable en el número de EV en la red de baja tensión existe la posibilidad que la capacidad de este filtro sea reducido únicamente a filtrar las corrientes armónicas.

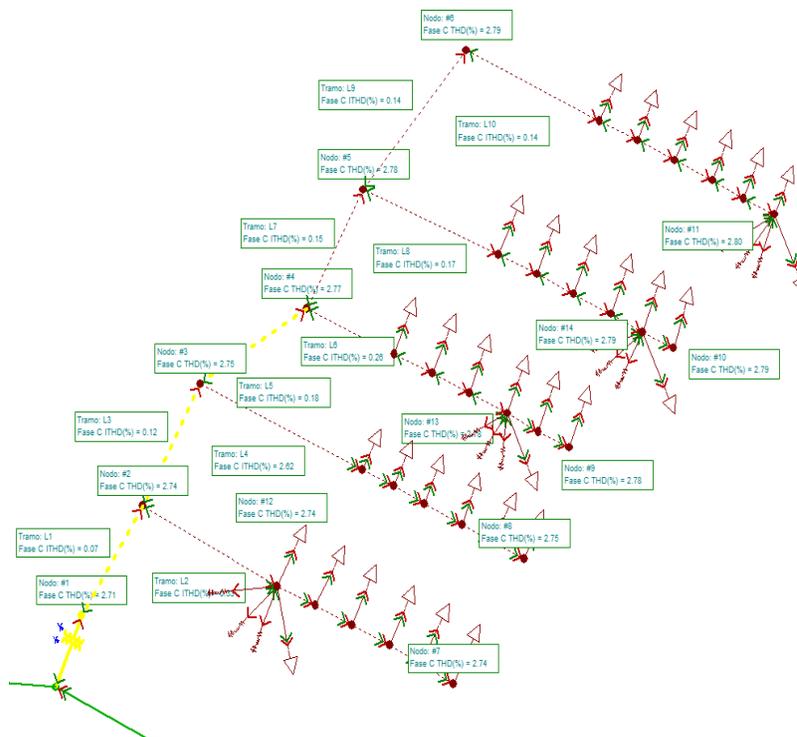


Figura 3.34. Flujo de Carga con corrientes armónicas con 4 EV, obtenido en CYME.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La estimación de los perfiles de carga actuales se la realizó con el algoritmo desarrollado en Matlab para cada tipo de usuario es decir residencial, comercial e industrial que se encuentran conectados a cada uno de los 41 transformadores del alimentador Norte de San Cristóbal, además se obtuvo la curva de carga total por alimentador de la red los cuales al compararse con las mediciones históricas de los mismos se obtuvieron resultados aproximadamente iguales, logrando así que el sistema eléctrico de San Cristóbal estimado se asemeje al sistema real en relación a la demanda de energía eléctrica.

Al ingresar al software computacional CYME los datos obtenidos a partir de la estimación en Matlab, se encontró que para la operación a demanda máxima los transformadores 5, 6 y 13 del Alimentador Norte superan el 90 % de su cargabilidad y tan solo el transformador número 5 se encuentra operando con un 5 % de sobrecarga.

El sistema eléctrico San Cristóbal se encuentra en condiciones de operación aceptables. Con una capacidad instalada capaz de asumir nuevas cargas adicionales en la red con un factor de utilización igual a 0,54 en la condición inicial.

Mediante la simulación de Monte Carlo se obtuvo el número de vehículos que se estima estén conectados a la red para cada hora. Para la hora de máxima coincidencia se tiene aproximadamente un 65 % del total de vehículos eléctricos tipo taxis conectados a la red y a la hora de mínima coincidencia aproximadamente un 18%. Esto ocurre de manera similar para cualquier porcentaje de penetración de EV considerado.

Cuando se consideró el porcentaje de penetración de vehículos eléctricos a un 20 %, aproximadamente el 13% de transformadores superan el 70% de cargabilidad con respecto a su potencia nominal, tan solo el T5 se encuentra sobrecargado el cual se mantiene en la misma situación que en la condición inicial. Al analizar la cargabilidad con un 80% de penetración en EV, se duplica el número de transformadores con un nivel de carga superior al 70%. Cuando la penetración de EV es del 100%. el 37% de los transformadores conectados al Alimentador Norte de la red San Cristóbal poseen porcentaje de carga superiores al 70% existiendo un total de 4 transformadores sobrecargados en estas condiciones, el transformador T17 a un porcentaje de carga de 152%.

La máxima caída de tensión en el sistema es de 0,17% en la fase A a demanda máxima en el nodo más lejano del alimentador Norte sin considerar vehículo eléctricos, cuando el porcentaje de penetración de EV es del 20% la caída de tensión llega hasta 0.19%, si se incrementa la penetración hasta un 80% de EV la caída de tensión alcanza el 0.25 %. Por otro lado cuando se considera el ingreso total de EV la caída de tensión máxima es de 0,254%.

Se obtuvo la característica de corriente durante un día para el tramo 109 del alimentador principal (Simulación CYME), variando el porcentaje de penetración de vehículos eléctricos en 20%, 80% y 100%. Resultando para el 100% de penetración que la máxima corriente correspondiente a 27 Ampere alrededor de las 19:15 horas, dando un 18,8% de cargabilidad de la línea.

De acuerdo a la estimación de carga total realizada para los alimentadores Norte, Sur y Zona Rural de la red eléctrica de distribución San Cristóbal se tiene que el pico máximo de carga esperado es de 2268 kW; la capacidad nominal de generación en la red Cristóbal es de 5450 kW asumiendo que las unidades se encuentran 100% operativas. Por lo tanto se tiene una cargabilidad del 46 % aproximadamente del parque generador siendo, capaz de suplir el total de carga esperado con el ingreso de vehículos eléctricos a la red.

El ingreso de un vehículo eléctrico en la red de baja tensión o red secundaria del transformador T17 produce una distorsión armónica con valores superiores a los establecidos según la normativa St. IEEE 519_2014. El ingreso de un número superior de autos provocará que la red opere sirviendo una tensión con niveles de distorsión elevados. Esta información es avalada por los resultados obtenidos desde la simulación de la red eléctrica San Cristóbal con una penetración de 100% de vehículos eléctricos, realizada en CYME.

Para un vehículo eléctrico sin filtro conectado en la red de baja tensión el porcentaje de distorsión armónica total (THD) en voltaje máximo en uno de los nodos alcanzó el 17,89 %, cuando cuatro vehículos fueron conectados a la misma red en el nodo se presentó un porcentaje de distorsión armónica total de 70,11%. Al implementar el filtro sintonizado simple el THD para un EV se reduce a un 2,22 % y con cuatro EV a un 2,78%, haciendo que la calidad de energía de la red en análisis mejore a los niveles aceptables de trabajo.

La capacidad del filtro de armónicos se ha dimensionado con la finalidad de mitigar las corrientes armónicas y compensar la caída de tensión en la red de baja, obteniendo

resultados satisfactorios, considerando que la máxima penetración de vehículos eléctricos en la red, es el 100% de cambio de los vehículos de combustión interna con vehículos eléctricos.

Para un estudio futuro, si se considerase una mayor penetración de vehículos eléctricos en la red, la implementación del filtro que se ha dimensionado en este estudio podría causar problemas de sobrevoltaje al existir un mayor porcentaje de coincidencia en la carga de los vehículos, por lo tanto sería necesario realizar un estudio para el dimensionamiento de un filtro por vehículo o una optimización de filtrado armónico general en redes secundarias de los transformadores.

La repotenciación del sistema se vuelve una necesidad, específicamente en las unidades de transformación con mayor carga acumulada con el ingreso de vehículos eléctricos, pero considerando la penetración de este tipo de automóviles en el sistema el proceso mencionado puede ser realizado de forma paralela al ingreso de EV.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] R. G. Valle y A. P. Joao, *Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks*, Springer: Ney York Heidelberg Dodrecht London.
- [2] A. B. A. P. M. C. y S. M. , *La inversión extranjera directa en América Latina y el Caribe*, Cepel, 2009.
- [3] Sociedad de Técnicos de Automoción (STA), *El Vehículo Eléctrico. Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio.*, Barcelona: Libbooks, 2011.
- [4] M. Y. y P. T. K. , «Review of Battery Charger Topologies Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hibrid Vehicles,» *IEEE Transactions on power electronics*, vol. 28, nº 5, Mayo 2013.
- [5] Y.-J. L. A. K. y A. E. , «Advanced Integrated Bidirectional AC/DC and DC/DC Converter for Plug-In Hybrid Electric Vehicles,» *IEEE transactions on Vehicular Tecnology*, vol. 58, nº 8, 2009.
- [6] M. E. F. V. C. C. K. y J. F. , «Comparison, Selection, and Parameterization of Electrical Battery Models fro Automotive Applications,» *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, nº 3, March 2013.
- [7] M. A. B. S. y B. V. , «Impact of EV Charger Load on Distribution Network Capacity: A case Study in Toronto,» *Canadian Journal of Eclectric ans Computer Engineering*, vol. 39, nº 4, 2016.
- [8] A. A. K. S. y F. M.-D. , «A unified Single- and Three-Phase Control for Grid Connected Electric Vehicles” *IEEE Transactions on Smart Grid,*» *IEEE Transaction on Smart Grid*, vol. 4, nº 4, December 2013.
- [9] IEEE Power and Energy Society, *IEEE Std. 519, “IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*, 2014.
- [10] Y. X. Y. X. Z. C. F. P. y M. B. , «Harmonic Analysis of Electric Vehicle Loadings on Distribution System,» *IEEE Transactions on Vehicular Tecnology*, 2014.

- [11] S. M. S. D. S. M. y M. M. , «Power Quality of Smart Grids with Plug-in Electric Vehicles Considering Battery Charging Profile,» *IEEE Transactions on Vehicular Technology*.
- [12] I. P. Abril, «Cálculo de parámetros de filtros pasivos de armónicos,» 2012.
- [13] ElecGalapagos S.A., «Informe de la presidencia ejecutiva a la junta general de accionistas por el ejercicio económico correspondiente al periodo 1 de enero - 31 de diciembre del 2012,» Galapagos, 2012.
- [14] Mancomunidad Comarca de Pamplona, «Estudio de Demanda y satisfacción Servicio de Taxi,» 2012.
- [15] O. Tremblay y L.-A. Dessaint, «Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications,» 2009.
- [16] Consejo Nacional de Electricidad, «Regulación No. CONELEC- 004/01,» CONELEC, Quito, 2001.
- [17] C. M. S. «Desing of Primary and Secondary Cells - Parts 2, An Equation Describing battery Discharge.,» *Journal of Electrochemical Society*, 1965.

ANEXO 1

Transformador	Demanda Max [kW]	Transformador	Demanda Max [kW]
1	9,612971019	22	19,23854365
2	11,59954262	23	13,35043966
3	17,38768167	24	20,121747
4	13,16723166	25	17,59318482
5	36,27216809	26	13,47548639
6	32,44454949	27	10,10153389
7	8,93236275	28	15,88869538
8	7,310268437	29	18,97378845
9	14,68548362	30	12,35285247
10	27,10243491	31	10,66043797
11	23,11462998	32	19,31525299
12	9,58292103	33	10,46709374
13	32,85361708	34	15,88384861
14	11,7682103	35	15,77625026
15	12,80953986	36	12,05901664
16	18,41144143	37	21,09831617
17	19,64858059	38	12,938464
18	21,05160079	39	10,58438563
19	16,39385049	40	15,56977775
20	16,40451339	41	9,592681577
21	12,50407177		

Anexo 1.1. Demanda por transformador en la hora de carga máxima, situación actual.

Transformador	Dem Max [kW]	Transformador	Dem Max [kW]
1	10,00780887	22	19,74032107
2	12,06520547	23	13,00673292
3	17,74496317	24	19,6978116
4	19,74244255	25	17,59955999
5	35,96214409	26	19,83162316
6	33,34223765	27	3,087757722
7	9,251570249	28	15,64297627
8	7,256212343	29	19,04418243
9	14,69854075	30	12,52772968
10	27,39120281	31	9,912551302
11	23,40131423	32	6,091314375
12	5,408627735	33	10,94822485
13	33,09505225	34	16,03362612
14	11,86454909	35	15,9318439
15	18,4458505	36	11,71139108
16	18,30636154	37	18,78827668
17	26,9650244	38	12,71398787
18	21,62032579	39	3,49172662
19	23,42670022	40	23,22731011
20	16,41860198	41	3,065104589
21	4,208544828		

Anexo 1.2. Demanda por transformador en la hora de carga máxima, 20% de penetración EV.

Transformador	Dem Max [kW]	Transformador	Dem Max [kW]
1	16,54239456	22	19,84601493
2	11,362444	23	18,18640943
3	17,81818023	24	34,05101004
4	20,83181261	25	17,18325304
5	35,46218147	26	20,50998692
6	32,06500859	27	16,54060137
7	9,160790015	28	15,42102147
8	12,2609101	29	37,22951363
9	14,37157026	30	12,32628718
10	27,32533462	31	23,62432367
11	22,46964294	32	21,16038761
12	9,468380212	33	10,35661375
13	31,915728	34	22,93459243
14	11,6774842	35	34,47061503
15	12,97024338	36	11,55922296
16	18,35744615	37	27,5360251
17	34,6550521	38	25,21045638
18	21,51421912	39	15,38181696
19	22,98486465	40	36,79956961
20	22,71829217	41	9,053262676
21	12,38347909		

Anexo 1.3. Demanda por transformador en la hora de carga máxima, 80% de penetración EV.

Transformador	Dem Max [kW]	Transformador	Dem Max [kW]
1	9,072317713	22	25,07712402
2	25,13451088	23	18,51580057
3	23,37180979	24	18,69142459
4	27,1387521	25	22,81055354
5	33,56211054	26	12,05829567
6	30,2562456	27	5,232567367
7	8,57205757	28	19,57406348
8	6,749451449	29	17,79850265
9	13,30406265	30	11,43395816
10	43,05816793	31	22,30883313
11	26,22076336	32	24,99403535
12	22,23548224	33	17,01441659
13	36,61875375	34	14,45289417
14	16,03548023	35	35,21881028
15	26,33084077	36	10,84839482
16	24,45896843	37	8,32105881
17	44,55820639	38	18,57299248
18	32,47111896	39	21,35869392
19	15,49308476	40	33,76033603
20	28,21422365	41	4,14419402
21	11,49599684		

Anexo 1.4. Demanda por transformador en la hora de carga máxima, 100% de penetración EV.

Transformador	Demanda por Usuario [kW]	Transformador	Demanda por Usuario [kW]
1	10,00780887	22	19,74032107
2	12,06520547	23	13,00673292
3	17,74496317	24	19,6978116
4	13,14244255	25	17,59955999
5	35,96214409	26	13,23162316
6	33,34223765	27	9,263273165
7	9,251570249	28	15,64297627
8	7,256212343	29	19,04418243
9	14,69854075	30	12,52772968
10	27,39120281	31	9,912551302
11	23,40131423	32	18,27394312
12	9,625883205	33	10,94822485
13	33,09505225	34	16,03362612
14	11,86454909	35	15,9318439
15	13,4458505	36	11,71139108
16	18,30636154	37	18,78827668
17	19,4650244	38	12,71398787
18	21,62032579	39	10,47517986
19	16,82670022	40	15,72731011
20	16,41860198	41	9,195313768
21	12,62563448		

**Anexo 1.5. Demanda de usuarios por transformador en la hora de carga máxima,
20% de penetración EV.**

Transformador	Demanda por Usuario [kW]	Transformador	Demanda por Usuario [kW]
1	9,942394555	22	19,84601493
2	11,362444	23	13,18640943
3	17,81818023	24	19,95101004
4	13,33181261	25	17,18325304
5	35,46218147	26	13,00998692
6	32,06500859	27	9,040601373
7	9,160790015	28	15,42102147
8	7,260910104	29	19,02951363
9	14,37157026	30	12,32628718
10	27,32533462	31	9,524323674
11	22,46964294	32	21,16038761
12	9,468380212	33	10,35661375
13	31,915728	34	15,43459243
14	11,6774842	35	15,37061503
15	12,97024338	36	11,55922296
16	18,35744615	37	20,9360251
17	19,6550521	38	12,71045638
18	21,51421912	39	10,38181696
19	16,38486465	40	16,09956961
20	16,11829217	41	9,053262676
21	12,38347909		

**Anexo 1.6. Demanda de usuarios por transformador en la hora de carga máxima,
80% de penetración EV.**

Transformador	Demanda por Usuario [kW]	Transformador	Demanda por Usuario [kW]
1	9,618991301	22	19,19048423
2	11,70234531	23	12,54937882
3	17,32329627	24	20,07008227
4	12,79656422	25	17,28839951
5	35,40114386	26	12,54162399
6	32,40193217	27	9,331652916
7	8,954589954	28	15,39116156
8	7,188214862	29	18,81688923
9	14,02746211	30	11,88594683
10	27,05182463	31	9,961927853
11	22,40780068	32	21,39499703
12	9,302981738	33	10,05559434
13	32,03551617	34	15,33881642
14	11,68780499	35	15,33009223
15	13,00691414	36	11,55015665
16	18,13310079	37	21,98820055
17	19,76434209	38	13,33552531
18	20,99951092	39	10,34640069
19	16,04683872	40	15,56176795
20	15,63389371	41	10,5007104
21	11,98869841		

**Anexo 1.7. Demanda de usuarios por transformador en la hora de carga máxima,
100% de penetración EV.**

ANEXO 2

Nombre nodo	V (pu)	Desfase V
195	0,939	118,43
207	0,937	118,4
210	0,934	118,37
202	0,932	118,34
203	0,93	118,32
212	0,928	118,3
211	0,926	118,28
228	0,924	118,22
229	0,922	118,19
231	0,919	118,16
226	0,917	118,13
227	0,915	118,11
234	0,915	118,1
233	0,915	118,1
254	0,914	118,08
259	0,911	118,04
256	0,909	118,01
258	0,907	117,98
250	0,904	117,96
253	0,902	117,94
251	0,902	117,93
273	0,909	118,01
276	0,906	117,97
274	0,904	117,94
275	0,902	117,91
268	0,901	117,9
271	0,901	117,89
269	0,901	117,88

Anexo 2.1. Usuarios en baja tensión en transformador 17 con voltajes menores a 0.95 pu.

Líneas	THD Corriente (%)	
	1 EV en Alm.	4 EV en Alm.
L1-C	0.14	0.07
L1-N	0.14	0.07
L10-C	2.11	0.14
L10-N	2.11	0.14
L2-C	2.61	0.33
L2-N	2.61	0.33
L3-C	2.12	0.12
L3-N	2.12	0.12
L4-C	2.12	2.62
L4-N	2.12	2.62
L5-C	2.12	0.18
L5-N	2.12	0.18
L6-C	2.12	0.26
L6-N	2.12	0.26
L7-C	2.11	0.15
L7-N	2.11	0.15
L8-C	2.11	0.17
L8-N	2.11	0.17
L9-C	2.11	0.14
L9-N	2.11	0.14

Anexo 2.2. THD en líneas principales en baja tensión, con implementación de filtros.

ANEXO 3

Nro. equipo	Nudo origen	Nudo destino	IEquil (Amps)	Desfase I	Carga (%)	IA (Amps)	IB (Amps)	IC (Amps)
2	2	1_HEAD	30,6	-23,25	13,1	31,8	27,8	32,2
5	2	3	30,2	-23,25	13,1	30,5	27,8	32,2
17	3	4.	29,6	-23,26	13,1	30,5	26,2	32,2
20	5	4.	2,4	-23,35	1	2,4		
29	4.	6	28,8	-23,26	13,1	28,1	26,2	32,2
32	7	6	1,8	-23,22	0,7		1,8	
41	6	8	28,2	-23,27	13,1	28,1	24,4	32,2
44	8	9.	4,6	-23,43	2	4,3	4,5	5,0
47	9.	10	3,2	-23,64	2	0,0	4,5	5,0
58	10	11	1,5	-23,57	1,8	0,0	4,5	0,0
67	12	9.	4,3	-23,13	1,7	4,3		
76	13	12	1	-22,97	0,4	1,0		
88	14	12	2	-23,24	0,8	2,0		
97	8	15	23,7	-23,24	11,1	23,9	19,9	27,2
106	15	N1	22,4	-23,23	9,8	23,9	19,9	23,4
109	21	N1	18,9	-23,19	8,3	20,3	19,5	16,8
118	22	21	18,3	-23,2	8,3	20,3	17,8	16,8
127	23	22	17,4	-23,2	7,2	17,7	17,8	16,8
136	24	23	16,5	-23,19	7,2	17,7	17,8	14,1
154	N2	24	14,8	-23,17	7,2	15,5	17,8	11,2
157	26	N2	5,2	-23,26	2,3	4,7	5,6	5,2
166	30	26	4,4	-23,27	2,3	2,4	5,6	5,2
175	30	27	1,8	-23,29	0,8	1,8		
184	29	30	1,5	-23,24	1,3	0,6	3,2	0,6
193	28	29	0,6	-23,05	0,2	0,6	0,6	0,6
203	31	30	2,3	-23,31	1,9	0,0	2,4	4,6
212	32	31	1,4	-23,24	1	0,0	2,4	1,9
221	32	33	1,9	-23,29	0,8			1,9
18	N2	35.	9,7	-23,15	4,9	10,8	12,1	6,1
39	34	35.	0,5	-22,98	0,2	0,5	0,5	0,5
48	36.	35.	8,5	-23,16	4,2	10,4	9,5	5,6
105	36.	41	5,7	-23,18	2,6	6,3	6,0	4,7
108	41	45	3,7	-23,15	1,9	2,7	3,8	4,7
164	45	46	3,2	-23,18	1,6	2,7	3,8	3,1

167	47	46	1,1	-23,17	0,9	2,3	0,5	0,5
170	48	47	0,5	-23,1	0,2	0,5	0,5	0,5
188	46	49	1,2	-23,21	1,1	0,4	0,4	2,6
216	49	50.	0,4	-23,06	0,2	0,4	0,4	0,4
113	44	41	2,2	-23,36	0,9		2,2	
129	41	42	3,6	-23,31	1,5	3,6		
134	42	43.	2,2	-23,38	0,9	2,2		
57	37	36.	1,9	-23,21	1,3	3,2	2,6	0,0
62	38	37	1,1	-23,08	1,3	3,2	0,0	0,0
66	39	38	0,5	-23,09	0,6	1,5	0,0	0,0
95	40	36.	0,9	-23,14	0,4	0,9	0,9	0,9
235	N1	16	3,5	-23,42	2,7	3,6	0,4	6,6
238	16	17	2,5	-23,43	2,7	0,4	0,4	6,6
241	17	18	0,4	-22,85	0,2	0,4	0,4	0,4
244	19	17	6,2	-23,59	2,5			6,2
247	20	19	1,6	-23,24	0,7			1,6

Anexo 3.1. Flujo de Carga en Líneas, Situación Actual.

Nro. equipo	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Fp promedio (%)	IEquil (Amps)	Desfase I	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kVAR)	Carga (%)
T1	10	4	11	91,97	1,3	-23,13	0,1	0	27,9
T2	12	5	13	91,92	1,6	-23,2	0,1	0,1	33,6
T3	17	8	19	91,82	2,4	-23,37	0,1	0,1	50,4
T4	13	6	14	91,89	1,8	-23,26	0,1	0,1	38,2
T5	36	16	40	91,52	5	-23,81	0,2	0,6	105,1
T6	33	14	36	91,58	4,5	-23,72	0,2	0,5	94
T7	9	4	10	91,99	1,2	-23,15	0,1	0	25,9
T8	7	3	8	92,03	1	-23,08	0,1	0	21,2
T9	15	6	16	91,86	2	-23,32	0,1	0,1	42,6
T10	27	12	30	91,66	3,7	-23,62	0,2	0,3	78,5
T15	13	6	14	91,9	1,8	-23,27	0,1	0,1	37,1
T16	19	8	20	91,8	2,5	-23,44	0,1	0,2	53,4
T17	20	9	22	91,78	2,7	-23,47	0,1	0,2	56,9
T18	21	9	23	91,76	2,9	-23,51	0,1	0,2	61
T19	16	7	18	91,83	2,3	-23,4	0,1	0,1	47,5
T20	17	7	18	91,83	2,3	-23,41	0,1	0,1	47,5
T23	13	6	15	91,89	1,8	-23,33	0,1	0,1	38,7
T22	19	8	21	91,79	2,6	-23,47	0,1	0,2	55,8
T21	13	5	14	91,97	0,6	-23,21	0	0	1,8
T24	20	9	22	91,77	2,8	-23,49	0,1	0,2	58,3
T25	18	8	19	91,81	2,4	-23,43	0,1	0,1	51
T26	14	6	15	91,89	1,9	-23,33	0,1	0,1	39,1
T28	16	7	17	91,84	2,2	-23,38	0,1	0,1	46,1
T27	10	4	11	91,97	0,5	-23,2	0	0	1,5
T36	12	5	13	91,91	1,7	-23,29	0,1	0,1	35
T39	11	5	12	91,97	0,5	-23,21	0	0	1,5
T38	13	6	14	91,9	1,8	-23,33	0,1	0,1	37,5
T40	16	7	17	91,85	2,1	-23,39	0,1	0,1	45,1
T41	10	4	10	91,97	0,4	-23,21	0	0	1,4
T37	21	9	23	91,75	2,9	-23,52	0,1	0,2	61,1
T35	16	7	17	91,84	2,2	-23,39	0,1	0,1	45,7
T34	16	7	17	91,84	2,2	-23,41	0,1	0,1	46
T33	11	5	11	91,95	1,4	-23,25	0,1	0,1	30,3
T31	11	5	12	91,94	1,5	-23,26	0,1	0,1	30,9

T30	12	5	14	91,91	1,7	-23,31	0,1	0,1	35,8
T29	19	8	21	91,79	2,6	-23,47	0,1	0,2	55
T32	19	8	21	91,95	0,9	-23,24	0	0	2,8
T12	10	4	10	91,97	0,4	-23,17	0	0	1,4
T14	12	5	13	91,92	1,6	-23,26	0,1	0,1	34,1
T13	33	14	36	91,57	4,5	-23,76	0,2	0,5	95,2
T11	23	10	25	91,72	3,2	-23,54	0,1	0,2	67

Anexo 3.2. Flujo de carga en Transformadores, Situación Actual.

Nro. equipo	Nudo origen	Nudo destino	IEquil (Amps)	Desfase I	Carga (%)	IA (Amps)	IB (Amps)	IC (Amps)
2	2	1_HEAD	32,7	-23,3	14,4	33,1	29,6	35,3
5	2	3	32,2	-23,3	14,4	31,7	29,6	35,3
17	3	4.	31,7	-23,31	14,4	31,7	28,0	35,3
20	5	4.	2,4	-23,36	1	2,4		
29	4.	6	30,9	-23,32	14,4	29,3	28,0	35,3
32	7	6	2,7	-23,4	1,1		2,7	
41	6	8	30	-23,32	14,4	29,3	25,3	35,3
44	8	9.	4,6	-23,44	2	4,3	4,6	5,0
47	9.	10	3,2	-23,66	2	0,0	4,6	5,0
58	10	11	1,5	-23,6	1,9	0,0	4,6	0,0
67	12	9.	4,3	-23,13	1,8	4,3		
76	13	12	1	-22,97	0,4	1,0		
88	14	12	2	-23,24	0,8	2,0		
97	8	15	25,4	-23,3	12,4	25,0	20,7	30,4
106	15	N1	24,1	-23,29	10,9	25,0	20,7	26,6
109	21	N1	20,2	-23,26	8,6	21,1	19,9	19,7
118	22	21	19,4	-23,26	8,6	21,1	17,4	19,7
127	23	22	18,5	-23,27	8	18,5	17,4	19,7
136	24	23	17,3	-23,25	7,6	18,5	17,4	16,0
154	N2	24	15,2	-23,22	7,1	15,3	17,4	13,0
157	26	N2	5,4	-23,31	2,5	4,6	5,7	6,0
166	30	26	4,7	-23,32	2,5	2,4	5,7	6,0
175	30	27	1,8	-23,28	0,7	1,8		
184	29	30	1,5	-23,28	1,3	0,6	3,3	0,6
193	28	29	0,6	-23,14	0,2	0,6	0,6	0,6
203	31	30	2,6	-23,38	2,2	0,0	2,4	5,4
212	32	31	1,7	-23,35	1,1	0,0	2,4	2,7
221	32	33	2,7	-23,48	1,1			2,7
18	N2	35.	9,8	-23,19	4,8	10,7	11,7	7,0
39	34	35.	0,4	-23,02	0,2	0,4	0,4	0,4
48	36.	35.	8,6	-23,21	4,2	10,3	9,1	6,5
105	36.	41	5,9	-23,23	2,6	6,4	5,7	5,7
108	41	45	3,9	-23,22	2,3	2,6	3,5	5,7
164	45	46	3,4	-23,25	1,7	2,6	3,5	4,1
167	47	46	1,1	-23,19	0,9	2,2	0,5	0,5
170	48	47	0,5	-23,17	0,2	0,5	0,5	0,5

188	46	49	1,5	-23,42	1,5	0,4	0,4	3,6
216	49	50.	0,4	-23,12	0,2	0,4	0,4	0,4
113	44	41	2,2	-23,36	0,9		2,2	
129	41	42	3,7	-23,32	1,5	3,7		
134	42	43.	2,2	-23,38	0,9	2,2		
57	37	36.	1,9	-23,2	1,3	3,1	2,6	0,0
62	38	37	1	-23,06	1,3	3,1	0,0	0,0
66	39	38	0,5	-23,05	0,6	1,4	0,0	0,0
95	40	36.	0,8	-23,27	0,3	0,8	0,8	0,8
235	N1	16	3,9	-23,44	2,8	4,0	0,7	6,9
238	16	17	2,8	-23,45	2,8	0,7	0,7	6,9
241	17	18	0,7	-23,12	0,3	0,7	0,7	0,7
244	19	17	6,2	-23,61	2,5			6,2
247	20	19	1,6	-23,25	0,7			1,6
59	1_HEAD	1	13,1	-23,07	5,3	13,1	13,1	13,1
63	1_HEAD	60	37	-23,08	15,1	37,0	37,0	37,0

Anexo 3.3. Flujo de carga en Líneas, 20% de penetración de EV.

Nro. equipo	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Fp promedio (%)	IEquil (Amps)	Desfase I	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kVAR)	Carga (%)
T1	10	4	11	91,96	1,4	-23,14	0,1	0	29
T2	12	5	13	91,92	1,7	-23,21	0,1	0,1	35
T3	18	8	19	91,81	2,4	-23,38	0,1	0,1	51,4
T4	20	9	22	91,78	2,7	-23,43	0,1	0,2	57,2
T5	36	16	40	91,53	5	-23,82	0,2	0,6	104,2
T6	34	15	37	91,57	4,6	-23,74	0,2	0,5	96,6
T7	9	4	10	91,98	1,3	-23,16	0,1	0	26,8
T8	7	3	8	92,03	1	-23,07	0,1	0	21
T9	15	6	16	91,86	2	-23,32	0,1	0,1	42,6
T10	28	12	30	91,66	3,8	-23,64	0,2	0,3	79,4
T15	19	8	20	91,8	2,5	-23,41	0,1	0,2	53,5
T16	18	8	20	91,8	2,5	-23,44	0,1	0,2	53
T17	27	12	30	91,66	3,7	-23,65	0,2	0,3	78,1
T18	22	9	24	91,75	3	-23,54	0,1	0,2	62,7
T19	24	10	26	91,72	3,2	-23,57	0,1	0,3	67,9
T20	17	7	18	91,83	2,3	-23,41	0,1	0,1	47,6
T23	13	6	14	91,9	1,8	-23,32	0,1	0,1	37,7
T22	20	9	22	91,78	2,7	-23,48	0,1	0,2	57,2
T21	13	5	14	91,91	0,6	-23,3	0	0	5,5
T24	20	9	22	91,78	2,7	-23,51	0,1	0,2	57,1
T25	18	8	19	91,81	2,4	-23,42	0,1	0,1	51
T26	20	9	22	91,78	2,7	-23,51	0,1	0,2	57,5
T28	16	7	17	91,85	2,2	-23,38	0,1	0,1	45,3
T27	9	4	10	91,94	0,4	-23,26	0	0	4
T36	12	5	13	91,92	1,6	-23,3	0,1	0,1	33,9
T39	11	4	11	91,93	0,5	-23,28	0	0	4,6
T38	13	5	14	91,9	1,8	-23,32	0,1	0,1	36,9
T40	23	10	25	91,72	3,2	-23,6	0,1	0,3	67,3
T41	9	4	10	91,94	0,4	-23,27	0	0	4
T37	19	8	21	91,79	2,6	-23,46	0,1	0,2	54,4

T35	16	7	17	91,84	2,2	-23,39	0,1	0,1	46,2
T34	16	7	18	91,84	2,2	-23,41	0,1	0,1	46,5
T33	11	5	12	91,94	1,5	-23,27	0,1	0,1	31,7
T31	10	4	11	91,96	1,4	-23,23	0,1	0	28,7
T30	13	5	14	91,9	1,7	-23,32	0,1	0,1	36,3
T29	19	8	21	91,79	2,6	-23,46	0,1	0,2	55,2
T32	18	8	20	91,86	0,8	-23,37	0	0,1	7,9
T12	16	7	18	91,88	0,7	-23,31	0	0,1	7,1
T14	12	5	13	91,92	1,6	-23,27	0,1	0,1	34,4
T13	33	15	36	91,57	4,6	-23,78	0,2	0,5	95,9
T11	24	10	26	91,72	3,2	-23,54	0,1	0,3	67,8

Anexo 3.4. Flujo de Carga en Transformadores, 20% de penetración de EV.

Nro. equipo	Nudo origen	Nudo destino	IEquil (Amps)	Desfase I	Carga (%)	IA (Amps)	IB (Amps)	IC (Amps)
2	2	1_HEAD	38,9	-23,44	16,7	40,9	35,4	40,4
5	2	3	38,1	-23,45	16,5	38,6	35,4	40,4
17	3	4.	37,6	-23,45	16,5	38,6	33,8	40,4
20	5	4.	2,5	-23,37	1	2,5		
29	4.	6	36,8	-23,46	16,5	36,2	33,8	40,4
32	7	6	2,9	-23,43	1,2		2,9	
41	6	8	35,8	-23,46	16,5	36,2	30,9	40,4
44	8	9.	4,7	-23,43	2	4,9	4,4	4,9
47	9.	10	3,1	-23,64	2	0,0	4,4	4,9
58	10	11	1,5	-23,57	1,8	0,0	4,4	0,0
67	12	9.	4,9	-23,19	2	4,9		
76	13	12	1,7	-23,2	0,7	1,7		
88	14	12	2	-23,24	0,8	2,0		
97	8	15	31,1	-23,47	14,5	31,3	26,5	35,5
106	15	N1	29,9	-23,47	13	31,3	26,5	31,8
109	21	N1	26,4	-23,48	11,3	27,7	26,1	25,3
118	22	21	25,8	-23,49	11,3	27,7	24,3	25,3
127	23	22	25	-23,5	10,3	25,2	24,3	25,3
136	24	23	23,4	-23,48	10,3	25,2	24,3	20,6
154	N2	24	21,3	-23,48	9,9	22,0	24,3	17,6
157	26	N2	6,6	-23,47	3,3	6,2	5,7	8,1
166	30	26	5,6	-23,47	3,3	3,1	5,7	8,1
175	30	27	2,5	-23,45	1	2,5		
184	29	30	1,5	-23,31	1,3	0,6	3,3	0,6
193	28	29	0,6	-23,16	0,2	0,6	0,6	0,6
203	31	30	3,3	-23,58	3,1	0,0	2,4	7,5
212	32	31	1,7	-23,38	1,2	0,0	2,4	2,8
221	32	33	2,8	-23,52	1,2			2,8
18	N2	35.	14,7	-23,51	7,6	15,8	18,7	9,5
39	34	35.	0,8	-23,24	0,3	0,8	0,8	0,8
48	36.	35.	13,2	-23,54	6,4	15,1	15,8	8,8
105	36.	41	8,9	-23,55	3,9	9,2	9,7	7,8
108	41	45	5,8	-23,52	3,2	4,6	4,9	7,8
164	45	46	5,2	-23,57	2,5	4,6	4,9	6,2
167	47	46	1,9	-23,49	1,7	4,2	0,7	0,7
170	48	47	0,7	-23,29	0,3	0,7	0,7	0,7

188	46	49	2,1	-23,73	2,2	0,4	0,4	5,5
216	49	50.	0,4	-23,14	0,2	0,4	0,4	0,4
113	44	41	4,8	-23,83	1,9		4,8	
129	41	42	4,6	-23,47	1,9	4,6		
134	42	43.	3,2	-23,58	1,3	3,2		
57	37	36.	3,4	-23,62	2,1	5,0	5,1	0,0
62	38	37	1,7	-23,39	2	5,0	0,0	0,0
66	39	38	1,1	-23,54	1,3	3,3	0,0	0,0
95	40	36.	1	-23,35	0,4	1,0	1,0	1,0
235	N1	16	3,5	-23,43	2,6	3,5	0,4	6,4
238	16	17	2,4	-23,44	2,6	0,4	0,4	6,4
241	17	18	0,4	-22,92	0,2	0,4	0,4	0,4
244	19	17	6	-23,6	2,5			6,0
247	20	19	1,6	-23,26	0,7			1,6
59	1_HEAD	1	15,2	-23,07	6,2	15,2	15,2	15,2
63	1_HEAD	60	48	-23,08	19,6	48,0	48,0	48,0

Anexo 3.5. Flujo de Carga en Líneas. 80 % de penetración de EV.

Nro. equipo	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Fp promedio (%)	IEquil (Amps)	Desfase I	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kVAR)	Carga (%)
T1	17	7	18	91,83	2,3	-23,33	0,1	0,1	47,9
T2	11	5	12	91,93	1,6	-23,2	0,1	0,1	32,9
T3	18	8	20	91,81	2,5	-23,39	0,1	0,1	51,6
T4	21	9	23	91,76	2,9	-23,46	0,1	0,2	60,4
T5	36	16	39	91,53	4,9	-23,81	0,2	0,6	102,8
T6	32	14	35	91,59	4,4	-23,72	0,2	0,5	92,9
T7	9	4	10	91,98	1,3	-23,16	0,1	0	26,5
T8	12	5	13	91,91	1,7	-23,26	0,1	0,1	35,5
T9	14	6	16	91,87	2	-23,32	0,1	0,1	41,6
T10	27	12	30	91,66	3,8	-23,65	0,2	0,3	79,2
T15	13	6	14	91,9	1,8	-23,29	0,1	0,1	37,6
T16	18	8	20	91,8	2,5	-23,46	0,1	0,2	53,2
T17	35	15	38	91,55	4,8	-23,84	0,2	0,6	100,4
T18	22	9	24	91,75	3	-23,55	0,1	0,2	62,3
T19	23	10	25	91,72	3,2	-23,58	0,1	0,2	66,6
T20	23	10	25	91,73	3,1	-23,59	0,1	0,2	65,8
T23	18	8	20	91,8	2,5	-23,48	0,1	0,2	52,7
T22	20	9	22	91,78	2,7	-23,5	0,1	0,2	57,5
T21	12	5	13	91,91	0,6	-23,32	0	0	5,4
T24	34	15	37	91,55	4,7	-23,84	0,2	0,5	98,7
T25	17	7	19	91,82	2,4	-23,44	0,1	0,1	49,8
T26	21	9	22	91,76	2,8	-23,55	0,1	0,2	59,4
T28	16	7	17	91,85	2,1	-23,4	0,1	0,1	44,7
T27	17	7	18	91,88	0,8	-23,37	0	0,1	7,2
T36	12	5	13	91,92	1,6	-23,32	0,1	0,1	33,5
T39	15	7	17	91,88	0,7	-23,37	0	0,1	6,7
T38	25	11	28	91,69	3,5	-23,66	0,1	0,3	73,1
T40	37	16	40	91,51	5,1	-23,91	0,2	0,6	106,6
T41	9	4	10	91,94	0,4	-23,29	0	0	3,9
T37	28	12	30	91,65	3,8	-23,7	0,2	0,4	79,8
T35	35	15	38	91,55	4,8	-23,84	0,2	0,6	99,9
T34	23	10	25	91,72	3,2	-23,61	0,1	0,2	66,5
T33	10	4	11	91,95	1,4	-23,28	0,1	0	30
T31	24	10	26	91,71	3,3	-23,62	0,1	0,3	68,5

T30	12	5	14	91,91	1,7	-23,34	0,1	0,1	35,7
T29	37	17	41	91,51	5,1	-23,9	0,2	0,6	107,9
T32	21	9	23	91,84	1	-23,43	0	0,1	9,2
T12	9	4	10	91,94	0,4	-23,24	0	0	4,1
T14	12	5	13	91,92	1,6	-23,28	0,1	0,1	33,8
T13	32	14	35	91,59	4,4	-23,76	0,2	0,5	92,5
T11	23	10	25	91,73	3,1	-23,54	0,1	0,2	65,1

Anexo 3.6. Flujo de carga en Transformadores, 80 % de penetración de EV.

Nro. equipo	Nudo origen	Nudo destino	IEquil (Amps)	Desfase I	Carga (%)	IA (Amps)	IB (Amps)	IC (Amps)
2	2	1_HEAD	40,4	-24,49	18,4	39,9	36,1	45,1
5	2	3	40	-24,51	18,4	38,7	36,1	45,1
17	3	4.	38,8	-24,55	18,4	38,7	32,7	45,2
20	5	4.	3,2	-23,5	1,3	3,2		
29	4.	6	37,7	-24,58	18,4	35,4	32,7	45,2
32	7	6	3,7	-23,58	1,5		3,7	
41	6	8	36,5	-24,62	18,4	35,4	28,9	45,2
44	8	9.	4,2	-23,38	1,9	3,9	4,2	4,6
47	9.	10	2,9	-23,6	1,9	0,0	4,2	4,6
58	10	11	1,4	-23,52	1,7	0,0	4,2	0,0
67	12	9.	3,9	-23,1	1,6	3,9		
76	13	12	0,9	-22,95	0,4	0,9		
88	14	12	1,8	-23,2	0,7	1,8		
97	8	15	32,3	-24,78	16,5	31,5	24,8	40,5
106	15	N1	30,2	-24,84	14,1	31,5	24,8	34,4
109	21	N1	25,6	-25,07	11,2	27,5	23,4	25,8
118	22	21	24,4	-25,15	11,2	27,5	19,8	25,8
127	23	22	23,2	-25,23	10,5	24,1	19,8	25,8
153	190	129	420	-35,23	182,6			420,0
156	154	190	28,8	-19,54	12,5			28,8
169	158	154	24,2	-19,55	10,5			24,2
172	170	158	19,4	-19,56	8,4			19,4
179	175	170	14,3	-19,56	6,2			14,3
183	180	175	9,6	-19,56	4,2			9,6
194	300	180	4,4	-19,56	1,9			4,4
201	195	190	392,3	-36,37	170,6			392,3
213	207	195	96,6	-36,12	42			96,6
217	210	207	91,6	-37,04	39,8			91,6
214	202	210	86,5	-38,09	37,6			86,5
222	203	202	81,8	-39,18	35,6			81,8
220	212	203	77,3	-40,34	33,6			77,3
219	211	212	72,9	-41,65	31,7			72,9
246	228	195	295,7	-36,45	128,5			295,7
236	229	228	96,6	-36,5	42			96,6
239	231	229	92,1	-37,34	40			92,1
237	226	231	87,3	-38,33	37,9			87,3

243	227	226	83	-39,31	36,1			83,0
242	234	227	9,8	-20,08	4,3			9,8
240	233	234	5,1	-20,08	2,2			5,1
285	254	228	199	-36,43	86,5			199,0
263	259	254	99,6	-36,39	43,3			99,6
266	256	259	94,8	-37,22	41,2			94,8
267	258	256	90,3	-38,11	39,3			90,3
260	250	258	85,2	-39,23	37			85,2
264	253	250	80	-40,5	34,8			80,0
261	251	253	5,5	-20,24	2,4			5,5
288	273	254	99,4	-36,47	43,2			99,4
279	276	273	99,4	-36,47	43,2			99,4
281	274	276	94,8	-37,28	41,2			94,8
282	275	274	90,2	-38,18	39,2			90,2
277	268	275	15,7	-20,29	6,8			15,7
280	271	268	10,6	-20,29	4,6			10,6
278	269	271	5,2	-20,29	2,2			5,2
136	24	23	20,9	-24,08	9,9	24,1	19,8	18,7
154	N2	24	18,6	-24,14	9	22,0	19,8	14,3
157	26	N2	6,3	-25,55	3	7,3	7,1	4,7
166	30	26	4,9	-23,39	2,9	3,0	7,1	4,7
175	30	27	2,6	-23,46	1	2,6		
184	29	30	1,6	-23,41	1,6	0,5	3,9	0,5
193	28	29	0,5	-23,1	0,2	0,5	0,5	0,5
203	31	30	2,5	-23,38	1,7	0,0	3,1	4,2
212	32	31	1,6	-23,35	1,3	0,0	3,1	1,7
221	32	33	1,7	-23,29	0,7			1,7
18	N2	35.	12,3	-23,44	6	14,8	12,7	9,6
39	34	35.	0,2	-22,79	0,1	0,2	0,2	0,2
48	36.	35.	11,2	-23,46	5,9	14,5	9,8	9,3
105	36.	41	7,7	-23,51	3,5	8,5	6,8	7,8
108	41	45	4,6	-23,46	3,2	4,2	2,0	7,8
164	45	46	4,1	-23,52	2,6	4,2	2,0	6,3
167	47	46	1,9	-23,61	1,7	4,1	0,2	1,6
170	48	47	1	-23,76	0,7	1,6	0,2	1,6
188	46	49	1,7	-23,72	2	0,2	0,2	4,9
216	49	50.	0,2	-22,88	0,1	0,2	0,2	0,2
113	44	41	4,9	-23,83	2		4,9	

129	41	42	4,3	-23,4	1,8	4,3		
134	42	43.	2	-23,36	0,8	2,0		
57	37	36.	2,3	-23,33	1,8	4,5	2,4	0,0
62	38	37	1,5	-23,33	1,8	4,5	0,0	0,0
66	39	38	1	-23,48	1,2	2,9	0,0	0,0
95	40	36.	1,1	-23,57	0,6	1,5	0,5	1,5
235	N1	16	4,6	-23,58	3,5	4,0	1,4	8,6
238	16	17	3,4	-23,6	3,5	0,4	1,4	8,6
241	17	18	1	-23,45	0,6	0,4	1,4	1,4
244	19	17	7,3	-23,7	3			7,3
247	20	19	2,2	-23,39	0,9			2,2

Anexo 3.7. Flujo de carga en Líneas, 100% de penetración de EV.

Nro. equipo	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Fp promedio (%)	IEquil (Amps)	Desfase I	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kVAR)	Carga (%)
T1	9	4	10	91,98	1,2	-23,11	0,1	0	26,3
T2	25	11	28	91,69	3,5	-23,54	0,1	0,3	72,9
T3	24	10	26	91,72	3,2	-23,52	0,1	0,3	67,7
T4	27	12	30	91,66	3,7	-23,6	0,2	0,3	78,7
T5	34	15	37	91,56	4,6	-23,78	0,2	0,5	97,3
T6	30	13	33	91,61	4,2	-23,68	0,2	0,4	87,7
T7	9	4	9	91,99	1,2	-23,14	0,1	0	24,8
T8	7	3	7	92,05	0,9	-23,06	0,1	0	19,6
T9	13	6	15	91,89	1,8	-23,29	0,1	0,1	38,6
T10	44	20	49	91,4	6,1	-24,01	0,3	0,9	127,7
T15	26	12	29	91,67	3,6	-23,6	0,1	0,3	76,3
T16	25	11	27	91,7	3,4	-23,6	0,1	0,3	70,9
T17	48	33	58	81,84	7,3	-35,19	0,4	1,3	152,2
T18	33	14	36	91,58	4,5	-23,8	0,2	0,5	94,1
T19	16	7	17	91,85	2,1	-23,4	0,1	0,1	44,9
T20	28	18	34	83,81	4,3	-33,18	0,2	0,4	89,3
T23	19	8	20	91,8	2,6	-23,49	0,1	0,2	53,7
T22	25	11	28	91,69	3,5	-23,61	0,1	0,3	72,7
T21	11	5	12	91,93	0,5	-23,3	0	0	4,6
T24	19	8	20	91,79	2,6	-23,5	0,1	0,2	54,2
T25	23	10	25	91,73	3,1	-23,56	0,1	0,2	66,1
T26	12	5	13	91,91	1,7	-23,33	0,1	0,1	35
T28	20	9	21	91,78	2,7	-23,49	0,1	0,2	56,7
T27	5	2	6	91,98	0,2	-23,22	0	0	2,3
T36	11	5	12	91,94	1,5	-23,3	0,1	0,1	31,4
T39	22	10	24	82,37	1	-23,81	0,1	0,3	25,5
T38	19	8	20	91,8	2,6	-23,5	0,1	0,2	53,8
T40	34	15	37	91,56	4,7	-23,86	0,2	0,5	97,9
T41	4	2	5	91,99	0,2	-23,21	0	0	1,8
T37	12	5	13	91,93	1,6	-23,28	0,1	0,1	33,3
T35	35	16	39	91,54	4,9	-23,84	0,2	0,6	102,1
T34	15	6	16	91,87	2	-23,39	0,1	0,1	41,9
T33	17	7	19	91,82	2,3	-23,46	0,1	0,1	49,3
T31	21	9	23	91,75	2,9	-23,56	0,1	0,2	61,9

T30	12	5	13	91,93	1,6	-23,31	0,1	0,1	33,1
T29	18	8	19	91,81	2,5	-23,45	0,1	0,1	51,6
T32	25	11	27	87,01	1,1	-23,65	0,1	0,3	22,3
T12	22	10	24	86,05	1	-23,59	0,1	0,2	21,1
T14	16	7	18	91,84	2,2	-23,41	0,1	0,1	46,5
T13	37	16	40	91,52	5,1	-23,87	0,2	0,6	106,1
T11	26	11	29	91,67	3,6	-23,62	0,1	0,3	76

Anexo 3.8. Flujo de carga en Transformadores, 100% de penetración de EV.