

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL REDIMENSIONAMIENTO DE REDES PRIMARIAS DE DISTRIBUCIÓN DEBIDO A SISTEMAS DE RECARGA DOMICILIARIOS PARA AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO**

Edgar Geovanny Pila Cárdenas

DIRECTOR: Mgs. Patricia Elizabeth Otero Valladares

CODIRECTOR: Prof. PhD. Carlos Fabián Gallardo

Quito, junio 2022

AVAL

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Edgar Geovanny Pila Cárdenas, bajo mi supervisión.

Mgs. Patricia Elizabeth Otero Valladares
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Prof. PhD. Carlos Fabián Gallardo
CODIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Edgar Geovanny Pila Cárdenas, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración dejo constancia de que la Escuela Politécnica Nacional podrá hacer uso del presente trabajo según los términos estipulados en la Ley, Reglamentos y Normas vigentes.

Edgar Geovanny Pila Cárdenas

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todos los que de alguna manera se vieron involucrados en este proceso de aprendizaje llamado vida universitaria.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi mamá por todo el esfuerzo que ha puesto para que esta carrera universitaria se haya logrado concretar con éxito, porque sin ella este sueño se hubiese visto truncado por las múltiples circunstancias que han ido apareciendo en el camino. También mis más sinceros agradecimientos a todos los familiares, amigos cercanos, compañeros, profesores y a la misma institución los cuales sea para bien o para mal, se han visto involucrados a lo largo de toda esta etapa universitaria, además que, sin ellos este proceso de aprendizaje no hubiese sido el mismo.

Solo me resta decir a mi profesora Ing. Patricia Otero, muchas gracias por toda la dedicación, el amor de madre y la paciencia que ha tenido conmigo, a un gran amigo el Ing. David Sánchez que me prestó su ayuda para que esto se llegue a culminar de la mejor manera, a mi querida socia Belén Quintana, gracias por tus jalones de oreja y a los señores de la empresa TRADUREP, gracias por confiar en mí.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.2 ALCANCE	3
1.3 MARCO TEÓRICO.....	4
1.3.1 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	4
1.3.2 DISPOSITIVOS ACOPLADOS A UN VEHÍCULO ELÉCTRICO.....	5
1.3.3 TIPOS DE RECARGA DE BATERÍAS EN AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS .	9
1.4 MÓDULOS DOMICILIARIOS DE RECARGA	11
1.5 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	13
1.5.1 CARGABILIDAD DE UN ALIMENTADOR	14
1.5.2 CARGAS NO LINEALES Y ARMÓNICOS EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN.....	14
2 METODOLOGÍA.....	16
2.1 METODOLOGÍA PROPUESTA	16
2.1.1 ANÁLISIS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y CONSUMIDORES.....	16
2.1.2 GENERACIÓN DE PERFILES DE CONSUMIDORES	17
2.1.3 ANÁLISIS DE LA RED ELÉCTRICA.....	18
2.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA A UN CASO DE ESTUDIO	23
2.2.1 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS COMERCIALIZADOS EN EL MERCADO ECUATORIANO	24
2.2.2 AUTONOMÍA, DISTANCIA PROMEDIO DIARIA DE RECORRIDO Y CONSUMO ENERGÉTICO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO	27
2.2.3 CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS	28
2.2.4 GENERACIÓN DE PERFILES DE CONSUMIDORES	33
2.2.5 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE USUARIOS.....	33
2.3 ANÁLISIS DE LA RED ELÉCTRICA DE ESTUDIO 21C.....	35

2.3.1	CONSUMO DE POTENCIA EN LA RED ELÉCTRICA	35
2.3.2	SIMULACIÓN DE LA RED 21C EN EL SOFTWARE CYMDIST	39
2.3.3	DISTRIBUCIÓN DE CARGA APLICADA A LA RED DE ESTUDIO	42
2.3.4	DEMANDA DIARIA (CASO DE ESTUDIO 1)	45
2.3.5	DEMANDA DIARIA (CASO DE ESTUDIO 2)	46
2.3.6	DEMANDA DIARIA (CASO DE ESTUDIO 3)	48
2.3.7	ANÁLISIS DE FRECUENCIAS ARMÓNICAS.....	49
2.3.8	ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE CARGA SEGÚN ESTIMACIONES	56
2.4	METODOLOGÍA PARA EL CASO DE ESTUDIO	58
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
3.1	ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA RED ELECTRICA DE ESTUDIO.....	62
3.1.1	ACTUALIDAD DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	68
3.1.2	FRECUENCIAS ARMÓNICAS EN LA RED	70
3.1.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ESTUDIO REALIZADO	72
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
4.1	CONCLUSIONES.....	75
4.2	RECOMENDACIONES	76
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
	ANEXOS	81
	Anexo 1: Transformadores y usuarios con demandas modificadas	81
	Anexo 2: Estudio de la red sin la incorporación de vehículos eléctricos	81
	Anexo 3: Estudio de la red con máxima demanda	81
	Anexo 4: Estudio de la red con recarga nocturna.....	81
	Anexo 5: Estudio de frecuencias armónicas.....	81

RESUMEN

El presente trabajo contiene información relevante sobre el funcionamiento de vehículos eléctricos, una breve descripción de sus componentes y los diferentes modos de recarga de baterías, además se describe el funcionamiento de las redes de distribución y se hace un rápido resumen de cargas no lineales y frecuencias armónicas en la red.

La red primaria en análisis es el ramal 21C perteneciente a la Subestación Epiclachima (21), ubicada al sur de la ciudad de Quito. El análisis realizado se basa en el estudio de las demandas de los usuarios residenciales exceptuando usuarios comerciales que están conectados a esta red; gracias a datos concedidos por la empresa distribuidora EEQ S.A., se ha obtenido curvas de consumo energético diarias, semanales y mensuales, además de la simulación en el software CYMDIST de dicha red. El estudio en cuestión contiene un análisis económico comparativo entre un vehículo eléctrico y vehículos de combustión interna, además análisis de demanda diaria sin la inclusión de sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos y con la inclusión de los mismos cumpliendo ciertos criterios como: análisis en máxima demanda, y análisis con horario de carga nocturna; también se incluye un pequeño estudio sobre frecuencias armónicas y las afectaciones que presentan en la red. A modo de estudio aparte, se presenta una comparación del dimensionamiento de algunos equipos que conforman actualmente esta red y las normas vigentes presentadas por la empresa distribuidora.

PALABRAS CLAVE: vehículos eléctricos, red primaria, curvas de consumo, armónicos, sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos.

ABSTRACT

This paper contains relevant information on the operation of electric vehicles, a brief description of their components and the different battery recharging modes, as well as a description of the operation of the distribution networks and a quick summary of non-linear loads and harmonic frequencies in the network.

The primary network under analysis is the 21C branch belonging to the Epiclachima Substation (21), located south of the city of Quito. The analysis is based on the study of the demands of residential users except for commercial users connected to this network; thanks to data provided by the distribution company EEQ S.A., daily, weekly, and monthly energy consumption curves have been obtained, in addition to the simulation of this network in the CYMDIST software. The study in question contains a comparative economic analysis between an electric vehicle and internal combustion vehicles, as well as an analysis of daily demand without the inclusion of home charging systems for electric vehicles and with the inclusion of the same meeting certain criteria such as: analysis at maximum demand, and analysis with night charging schedule; it also includes a small study on harmonic frequencies and the effects they have on the network. As a separate study, a comparison of the sizing of some equipment that currently make up this network and the current standards presented by the distribution company is presented.

KEYWORDS: electric vehicles, primary network, consumption curves, harmonics, home charging systems for electric vehicles.

1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día la facilidad en la movilidad es uno de los factores para que el transporte vehicular terrestre tenga mucho protagonismo. Tal es el caso que, poseer un automóvil ya no se convierte en un lujo, más bien se ha convertido en una necesidad, la cual ha sido adquirida por los individuos que necesitan realizar viajes diarios de mayor distancia en un menor intervalo de tiempo.

Los combustibles utilizados por los vehículos son derivados del petróleo, ya sean gasolina, diésel o GLP. Este tipo de vehículos con motor de combustión interna son los causantes de gran porcentaje de la contaminación medioambiental no solo por los gases y desperdicios que estos envían al medio ambiente, sino por todo el proceso que hay detrás de la obtención de los combustibles con los que funcionan estos vehículos [1].

Uno de los factores para que los vehículos de combustión interna sean fuente de contaminación, es la baja eficiencia del motor, ya que la energía convertida en movimiento es menor al 40% mientras que el resto de energía se desperdicia en calor que se va a la atmósfera. Además, la combustión generada por el movimiento del motor desprende gases como el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), algunos óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos de plomo y otros gases que son nocivos para el medio ambiente y para las personas que interactúan con él [2].

Para reducir el impacto ambiental causado por los vehículos de combustión interna, la industria automotriz ha pensado en la manufacturación y utilización de vehículos eléctricos, lo cual no es una práctica reciente, dado que los vehículos eléctricos fueron desarrollados (principios del siglo XIX entre 1832 y 1839) antes de la invención e introducción de vehículos de combustión interna (finales del siglo XIX 1885) [3]. Debido a diferentes factores socioeconómicos, los vehículos eléctricos fueron perdiendo la competencia contra de sus rivales los vehículos de combustión interna [4].

Los vehículos eléctricos exigen mejorar varios aspectos de la sociedad, entre ellos están los económicos, ambientales, energéticos, sociales y otros. Desde el auge de la popularidad por la utilización de vehículos eléctricos han surgido varios problemas, uno de estos es el funcionamiento de este medio de transporte, debido a que necesita de energía eléctrica, la cual es suministrada por una cadena de baterías acopladas a la estructura del vehículo. El uso de baterías vuelve limitada la utilización continua de este medio de transporte, porque la duración promedio de estas oscila entre 300 y 400 [km] de recorrido por cada carga completa. Dependiendo del tipo de carga que se exija a las baterías, varía el tiempo en que estas van a estar a su capacidad máxima [5].

Existen cuatro modos o niveles de carga de baterías: Modo I (carga lenta) está dado para vehículos de baja potencia tales como: bicicletas, scooter, patinetas, etc. Modo II (carga lenta) donde el tiempo promedio de carga oscila entre 6 y 8 horas, Modo III (carga semi rápida) donde el tiempo promedio de carga oscila entre 2 y 4 horas, Modo IV (carga rápida) donde el tiempo de carga es menor a 1 hora [6].

Como resultado de la incorporación de vehículos eléctricos y los variados tipos de recarga de baterías, se prevé un crecimiento en la demanda de energía eléctrica, por lo que es necesario que las redes de distribución y el sistema eléctrico sean capaces de abastecer la demanda de los usuarios. Con la incorporación de centros de carga domiciliarios para vehículos eléctricos, las redes de distribución en muchos casos pueden verse saturados, por lo que es necesario un estudio para el redimensionamiento de estas y evitar un posible colapso del sistema eléctrico [7].

1.1 OBJETIVOS

El objetivo general de este Proyecto Técnico es:

- Proponer una metodología para el redimensionamiento de redes primarias de distribución debido al ingreso de sistemas de recarga domiciliarios para vehículos eléctricos.

Los objetivos específicos del Proyecto Técnico son:

- Estudiar los modelos de sistemas de recarga domiciliarios para automóviles eléctricos.
- Analizar el comportamiento de las curvas de demanda antes y después de la incorporación de sistemas de recarga para automóviles eléctricos, teniendo como posibilidad que cada usuario de automóviles de combustión interna cambie a automóviles eléctricos.
- Estudiar las afectaciones y la posibilidad de un redimensionamiento de las redes de distribución después de la incorporación de los sistemas de recarga domiciliarios para automóviles eléctricos.
- Plantear la metodología a los inconvenientes y problemas que puede ocasionar la incorporación masiva de sistemas de recarga domiciliarios para automóviles eléctricos al sistema.

1.2 ALCANCE

Este trabajo está enfocado en el análisis del impacto que tendrá el ingreso masivo de sistemas de recarga domiciliarios para automóviles eléctricos sobre las redes de distribución. En este contexto, el trabajo inicia con una investigación en bibliografías especializadas. Con esta base teórica, se establece el modo de funcionamiento de los sistemas de recarga domiciliarios y los elementos de las redes de distribución que podrían ser susceptibles al impacto que este tipo de carga.

Se debe tomar en cuenta que el redimensionamiento de las redes de distribución está orientado a transformadores, líneas, protecciones y posterior al estudio, se determinará si son necesarios nuevos elementos (activos y/o pasivos) para contrarrestar el impacto del ingreso masivo de los sistemas de recarga para automóviles eléctricos.

En base a datos de las redes de distribución proporcionados por una empresa distribuidora y haciendo uso de herramientas computacionales, se pretende modelar el comportamiento del sistema de recarga domiciliario, además de la red de distribución, para así comprender el efecto que dicha carga masiva tiene en el sistema de distribución. También se determinará si la red estudiada requiere cambios en su estructura y las posibles soluciones para que los efectos encontrados en la simulación no afecten al sistema.

Para la modelación del sistema de distribución, la empresa distribuidora se basa en la herramienta computacional (CYMDIST), es por este motivo que se utilizará esta para analizar la red de distribución antes y después del ingreso de vehículos eléctricos. Analizando las curvas de demanda típicas.

Se tomará como modelo una red de distribución real de una empresa distribuidora de Ecuador según la disponibilidad de datos y se presentarán recomendaciones que puedan ser aplicadas en dicha red y otras similares.

1.3 MARCO TEÓRICO

En esta sección se detallarán los principales componentes que permiten que el vehículo eléctrico funcione con total normalidad, así como los elementos externos que intervienen en el proceso de recarga de las baterías de los automóviles eléctricos, además de características muy breves de los sistemas de distribución.

1.3.1 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Los vehículos eléctricos tienen una característica en común y, es que es necesario un conjunto de baterías que suministren energía eléctrica al motor para que este pueda funcionar. En cuanto al funcionamiento, es necesario mencionar que el vehículo eléctrico tiene mayor eficiencia energética que el vehículo de combustión interna, debido a que el porcentaje de energía que se convierte en movimiento está entre el 60% - 85% en contra de un 10% - 40% respectivamente, lo que hace que un vehículo eléctrico contamine menos y gaste menos energía en su movilización [2] [6].

Tal como los vehículos de combustión interna necesitan recargar combustible cada cierta distancia recorrida, el vehículo eléctrico necesita recargar sus baterías conectándose a la red eléctrica y el tiempo de recarga de las baterías varía dependiendo del modo de recarga que se va a realizar. El tipo y el tiempo de recarga depende del nivel de voltaje y corriente que puede suministrar la red eléctrica al sistema de recarga [6].

Se puede decir que las baterías son el corazón del vehículo eléctrico, pero existen otros componentes que ayudan al funcionamiento de este, tal es el caso del motor eléctrico, el cual convierte la energía eléctrica proporcionada por las baterías en energía mecánica. Dependiendo del tipo de vehículo eléctrico, se tendrá desde 1 motor eléctrico acoplado al vehículo y a su eje de transmisión hasta 4 motores eléctricos acoplados a cada uno de los ejes o ruedas del vehículo [1] [5].

Un vehículo eléctrico puede funcionar solamente con las baterías conectadas al motor eléctrico, pero, para que funcione de manera satisfactoria para el usuario este debe tener todos los beneficios de un medio de transporte como: aceleración creciente, la recarga de baterías mientras se conduce el vehículo, música y muchos más. Como se puede observar en la Figura 2.3 existen diferentes componentes acoplados al vehículo que ayudan a que este se pueda conducir [5].



Figura 1.1. Componentes de un vehículo eléctrico. Tomado de Herr Loeffler – Shutterstock.

1.3.2 DISPOSITIVOS ACOPLADOS A UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

A continuación, se citan algunos de los dispositivos que forman parte de un vehículo eléctrico

1.3.2.1 BATERÍAS

Todo vehículo eléctrico necesita de un conjunto de baterías para que este se pueda funcionar correctamente. Si bien existe una variedad de fabricantes de automóviles eléctricos y cada uno ha diseñado su propio modelo de baterías, las más utilizadas son las baterías de Iones de litio (Ion-Li), ya que estas soportan varios ciclos de carga y su durabilidad es muy alta [8].

Las baterías almacenan energía en forma de corriente continua y son las encargadas de proporcionar electricidad a todo el vehículo [8]. Dependiendo del tipo de motor que este acoplado al vehículo, las baterías van conectadas a un controlador y al motor si este es un motor DC, o las baterías se conectan a un inversor (encargado de transformar corriente continua a corriente alterna) y un controlador si el motor es AC [9].

En la Figura 1.2 se muestra la evolución que han tenido las baterías de los vehículos eléctricos desde el año 1983 comenzando con el Audi Duo que fue lanzado con una batería que podía dar una potencia de 8 [kWh] hasta lo que se prevé en el año 2022 con el Tesla modelo Roadster que su conjunto de baterías puede entregar una potencia de 200 [kWh] [5].

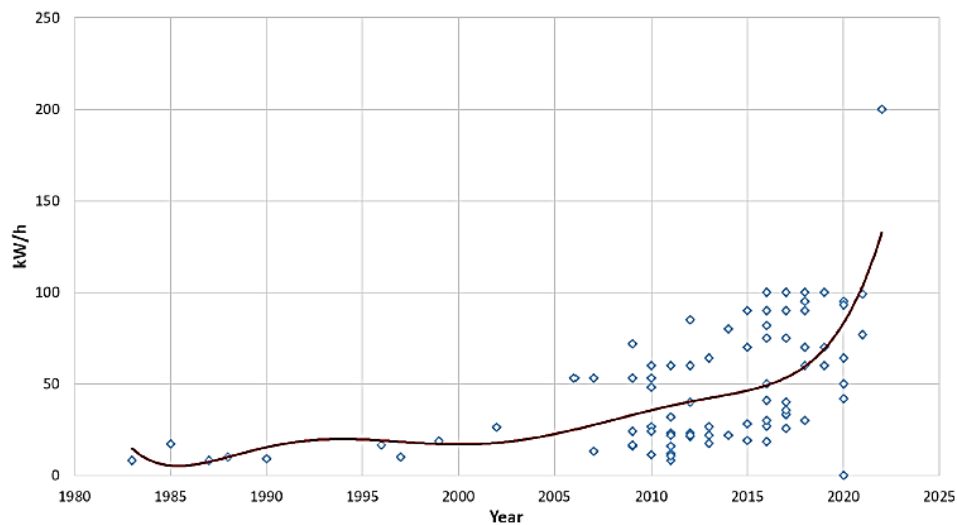


Figura 1.2. Evolución de la entrega de potencia de las baterías en EV's desde el año 1983 hasta el año 2022.

1.3.2.2 MOTOR

El motor para un vehículo eléctrico se compone básicamente de 2 elementos: rotor (elemento que gira o rota) y estator (elemento que permanece estático mientras el rotor actúa). En el interior del estator la corriente que pasa por sus bobinados genera un campo magnético giratorio el cual hace girar al rotor y a través de elementos acoplados al eje de transmisión del vehículo se genera el movimiento de este [10].

El motor eléctrico a diferencia del motor de combustión interna no genera rozamiento entre sus piezas por lo que existe suavidad en su funcionamiento, además de un mantenimiento casi nulo en sus partes [11]. A continuación se detallan algunos tipos de motores eléctricos.

- **Motor sincrónico de reluctancia variable:** Es un tipo de motor en el que su funcionamiento es basado en la reluctancia variable. Su rotor es de hierro dulce dentado para que estos se alineen con los polos del bobinado del estator. La corriente que pasa por estas bobinas se encarga de crear un campo magnético rotativo, el cual hace que los polos del rotor sean atraídos y esto cause su movimiento. Son motores del alto torque y potencia, muy robustos y relativamente económicos [12].
- **Motor sincrónico de imanes permanentes:** Este es un tipo de motor eléctrico de alto rendimiento, de muy bajo peso y tamaño reducido, una de las propiedades de este motor es que, es de velocidad constante. Se clasifica en dos tipos: flujo radial y flujo axial [12].

- **Motor de imanes permanentes sin escobillas:** Los imanes permanentes para este motor están ubicados en el rotor y se alinean secuencialmente a las fases que alimentan al motor. Este tipo de motor es muy utilizado en vehículos híbridos, es de baja potencia, ofrecen muy bajo sonido y su mantenimiento es relativamente nulo [12].
- **Motor asincrónico de inducción:** Son motores que funcionan con corriente alterna, la diferencia con los motores sincrónicos es que, estos no necesitan de conmutaciones mecánicas para el giro del rotor y su rotor gira a menor velocidad que la velocidad electromagnética producida por el estator. Este tipo de motor es muy utilizado en vehículos eléctricos por su bajo costo, bajo ruido y vibraciones casi nulas [12].
- **Motores de corriente continua (DC):** Los motores de corriente continua o motores DC han sido atractivos para la industria automotriz y buenos candidatos para aplicaciones de baja potencia, gracias a su alto torque y su simple control de velocidad de giro. Una de las desventajas de utilizar en vehículos eléctricos este tipo de motores es que surgen muchos problemas de mantenimiento debido a su construcción (escobillas y anillos) y a su alto costo [12].

1.3.2.3 CARGADORES DE BATERÍAS INCORPORADOS EN EL VEHÍCULO ELÉCTRICO (FRENO REGENERATIVO)

Para los vehículos eléctricos, estos cargadores son parte esencial del proceso de recarga de baterías mientras el vehículo se encuentra en movimiento y no se puede hacer uso de un punto de recarga. A este proceso se lo ha denominado freno regenerativo, el cual es un dispositivo de freno dinámico que va reduciendo la velocidad del vehículo y transforma parte de la energía cinética en energía eléctrica que se almacena en las baterías de este [13].

Este es un proceso en donde la recarga de las baterías se realiza en corriente continua y el vehículo no está conectado a una estación de carga [13].

No se puede decir que este freno reemplazará al freno por fricción incorporado en todos los vehículos, ya que en algún punto puede llegar a fallar y no es 100% confiable a bajas velocidades o en caso de una frenada de emergencia [13].

1.3.2.4 INVERSORES DE VOLTAJE

Para un vehículo que funciona con un motor de corriente alterna, este es un elemento fundamental para su funcionamiento. En el vehículo este dispositivo electrónico es el

encargado de transformar la corriente continua en corriente alterna, estableciendo un voltaje y frecuencia determinada según sea la exigencia del conductor [13].

1.3.2.5 CONTROLADORES

El controlador de un vehículo eléctrico es el encargado de distribuir en perfecta sincronía la energía que el motor eléctrico del vehículo recibe. Esto lo hace con el fin de mantener en óptimas condiciones la eficiencia y la seguridad del vehículo. Los métodos actuales que más frecuentemente se utilizan, están basados en electrónica de control, que proporcionan variabilidad en la velocidad y torque que el motor va requiriendo [14].

Un modelo básico de controlador es un inversor trifásico, donde toma el voltaje proporcionado por la batería y a través del inversor de voltaje se obtiene un voltaje alterno trifásico que permite controlar el motor de inducción. El controlador de campo administra corrientes trifásicas referenciales al motor de inducción y sumado los voltajes trifásicos que alimentan el motor de inducción se obtiene las corrientes deseadas para controlar el torque del motor de inducción [14].

1.3.2.6 PUERTO DE CARGA DE BATERÍAS

Puesto que no hay un estándar para la fabricación de puertos de carga, cada fabricante ha diseñado el suyo propio, lo cual imposibilita a los usuarios recargar sus vehículos con cualquier sistema de recarga. Por este motivo existen varios tipos de adaptadores que simplifican la tarea de buscar un sistema de recarga compatible con el vehículo utilizado.

En términos simples, el puerto de carga no es más que un enchufe que se conecta a los puntos de recarga de baterías para vehículos eléctricos.

A continuación, se enlista diferentes tipos de puertos de carga y conectores para vehículos eléctricos

Conector tipo 1. Es un puerto de carga y conector utilizado por las empresas Mitsubishi, Citroën, Peugeot, Nissan, Kia y otras empresas en algunos de sus modelos de vehículos eléctricos.

Es un tipo de conector monofásico con tomas de fase, neutro y tierra, además de dos tomas para la detección de conectividad y la comunicación con el automóvil. La potencia que puede suministrar este tipo de conector está entre 1.4 [kW] y 7.4 [kW].

Conector tipo 2. También conocido como Mennekes, es un tipo de conector utilizado para recarga de baterías de automóviles eléctricos. Este conector se normalizó como estándar europeo.

La principal diferencia con el conector tipo 1 es el número de fases, ya que posee un total de 3 fases, neutro, tierra y dos puertos para comunicación con el vehículo. Gracias a la diferencia del número de fases en este conector, se permite un menor tiempo de recarga de las baterías.

La potencia que este conector puede suministrar va desde 1.4 [kW] a 22 [kW] debido a que el número de fases es variable y puede ser utilizado de manera de conector monofásico, bifásico o trifásico.

Conector CHAdeMO. Es un tipo de conector de carga rápida de corriente continua. Este tipo de conector puede suministrar una potencia de hasta 62.5 [kW] a un voltaje de 500 [V] y una corriente de 125 [A].

Como es un conector para carga rápida, este puede recargar las baterías de un automóvil en menos de 30 minutos y si el tipo de carga es ultra rápida, esta recarga puede durar menos de 15 minutos.

Conector CCS. El conector CCS (sistema de carga combinada), es una estandarización europea para la recarga de baterías de automóviles eléctricos que para beneficio de los usuarios utiliza un solo conector para diferentes modos de carga, estos pueden ser en corriente alterna y en corriente continua. Este tipo de Conectores le permite al usuario variar los tipos de carga como lentos, semi rápidos y rápidos.

Por el momento este tipo de conectores puede suministrar potencias de hasta 50 [kW] para la recarga de las baterías del automóvil.

1.3.3 TIPOS DE RECARGA DE BATERÍAS EN AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS

Como se mencionó anteriormente, existen tres modos de recarga para automóviles eléctricos (modo 2, modo 3 y modo 4) y un modo para vehículos de baja potencia (modo1). En esta parte se va a profundizar sobre cada uno de los tipos de recarga, los beneficios y las complicaciones que estos tienen para el usuario y para el vehículo.

Carga lenta Modo 1. Es un tipo de recarga lenta que se enchufa a un tomacorriente doméstico (110 [V] o 220 [V]), el cual no consta de comunicación entre el vehículo y el punto de carga. La recarga de baterías se lo realiza en la noche donde la demanda de energía eléctrica es mínima.

En la red domiciliaria monofásica se emplea el voltaje dado por la empresa distribuidora y la corriente que puede administrar esa acometida, que en conjunto es un promedio de 16 [A] y una potencia aproximada de 3.7 [kW]. Para la red trifásica la potencia entregada es de 11 [kW], lo que reduce el tiempo de recarga a la mitad.

Este modo de recarga está dedicado a bicicletas con motor eléctrico, Scooter y motocicletas eléctricas de baja potencia.

Carga lenta Modo 2. Es un tipo de recarga que generalmente es instalada en el garaje de las viviendas de los usuarios de vehículos eléctricos.

Para recargar las baterías de un vehículo eléctrico con carga lenta se puede utilizar voltaje monofásico (110 [V]) o trifásico (220 [V]) y la potencia que entrega para la carga depende del voltaje a utilizarse, es así que, la potencia máxima que puede manejar este tipo de carga es hasta 7.4 [kW] con una conexión monofásica y hasta 22 [kW] con una conexión trifásica manejando una corriente máxima de 32 [A], además de constar con una protección diferencial y también con una protección termomagnética.

Cabe resaltar que, para una recarga completa de baterías, el tiempo aproximado es de 6 a 8 horas, por lo que se recomienda la recarga vehicular nocturna.

Carga semi rápida Modo 3. Los fabricantes de automóviles eléctricos aconsejan a los usuarios utilizar este tipo de recarga para sus vehículos, por combinar seguridad y fiabilidad, siendo el tiempo de recarga completa un aproximado de 4 horas. Al igual que la carga lenta, se recomienda recargar las baterías del vehículo durante la noche.

Para este tipo de recarga de baterías existen módulos inteligentes de recarga de baterías (WALLBOX), el cual combina sistemas de protección y distribución de energía.

La potencia que puede entregar es hasta 7.4 [kW] con conexión monofásica y hasta 22 [kW] con una conexión trifásica, manejando una corriente máxima de 32 [A].

Con el uso de módulos inteligentes (WALLBOX) y gracias a su sistema de protección y distribución de energía, el tiempo de duración de las baterías en el automóvil es más prolongado, ya que este es un sistema diseñado específicamente para recargar baterías de automóviles eléctricos.

Las ventajas de este tipo de recarga y de la utilización de estos módulos (WALLBOX) se detallan a continuación:

- Verificación de la conexión a tierra de manera permanente.
- Comprobación de una correcta conexión del módulo.

- Distribución de energía activando y desactivando carga.
- Escoger la potencia del módulo según los gustos del usuario.
- Revisión permanente de la carga.
- Programación de horarios de recarga.

Carga rápida Modo 4. Este tipo de carga se la debe realizar en situaciones donde no es posible esperar algunas horas para recargar las baterías del automóvil eléctrico, pues, este tipo de carga permite recargar las baterías del vehículo en menos de una hora.

No es recomendable realizar siempre la carga rápida, porque las baterías del vehículo se deterioran con mayor rapidez, es por eso que se debe recurrir a la carga rápida siempre y cuando sea exclusivamente necesario.

Este es el único modo que utiliza corriente continua y no corriente alterna para la recarga de las baterías del vehículo. La carga rápida puede ofrecer potencias de hasta 50 [kW] a un voltaje de 500 [V] y una corriente de 125 [A], por lo que no es recomendable la instalación de este centro de recarga en un domicilio particular.

1.4 MÓDULOS DOMICILIARIOS DE RECARGA

Como se mencionó anteriormente, el módulo para recarga de baterías en vehículos eléctricos recomendado por los fabricantes son los módulos inteligentes de recarga.

Estos módulos de última generación crean soluciones de recarga para vehículos eléctricos en hogares, empresas y ciudades.

Estos módulos de recarga inteligente proporcionan soluciones de hardware y software y mediante conexión de datos y aplicaciones de fácil uso, además se permite la comunicación entre el vehículo y el cargador permitiendo el control de la carga, además del acceso, uso y compartición de la energía como el usuario desee.

A continuación, se detalla algunos de los productos existentes en el mercado.

- **WALLBOX Pulsar**

Es un cargador ideal para hogares con tamaño compacto y potentes funciones.

Características técnicas

Cargador: Corriente alterna

Conector: Tipo 1 (7.4 [kW]) y Tipo 2 (7.4 [kW], 11 [kW] y 22 [kW])

Potencia: 7.4 [kW] monofásico y 22 [kW] trifásico

Tipo de recarga: Carga semi rápida Modo 3

Corriente máxima: 7.4 [kW] 32 [A] monofásico – 11 [kW] 16 [A] trifásico – 22 [kW] 32 [A] trifásico

Corriente ajustable: 6 [A] a 32 [A]

Interfaz de usuario: Wallbox App – MyWallbox Portal

Conectividad: Bluetooth

- **WALLBOX Copper SB**

Es un cargador ideal para hogares y empresas, por su función de Power Sharing que le ofrece al usuario la opción de distribución equitativa de la energía entre todos los cargadores acoplados a esa red, además de suministrar la energía que no se está utilizando para ajustar automáticamente la potencia y proporcionarla a la carga de baterías del automóvil eléctrico.

Características técnicas

Cargador: Corriente alterna

Conector: Tipo 2

Potencia: 7.4 [kW] monofásico y 22 [kW] trifásico

Tipo de recarga: Carga semi rápida Modo 3

Corriente máxima: 7.4 [kW] 32 [A] monofásico – 11 [kW] 16 [A] trifásico – 22 [kW] 32 [A] trifásico

Corriente ajustable: 6 [A] a 32 [A]

Interfaz de usuario: Wallbox App – MyWallbox Portal

Conectividad: Wifi, Ethernet, Bluetooth y 4G

- **WALLBOX Commander 2**

Es un cargador que ha sido diseñado especialmente para zonas semi públicas o zonas de estacionamiento corporativo. Este módulo es capaz de administrar la carga de varios usuarios a través de un solo dispositivo, es decir, diferentes usuarios pueden hacer uso del mismo cargador para sus diferentes vehículos.

Características técnicas

Cargador: Corriente alterna

Conector: Tipo 1 (7.4 [kW]) y Tipo 2 (7.4 [kW], 11 [kW] y 22 [kW])

Potencia: 7.4 [kW] monofásico y 22 [kW] trifásico

Tipo de recarga: Carga semi rápida Modo 3

Corriente máxima: 7.4 [kW] 32 [A] monofásico - 11 [kW] 16 [A] trifásico - 22 [kW] 32 [A] trifásico

Corriente ajustable: 6 [A] a 32 [A]

Interfaz de usuario: Wallbox App - MyWallbox Portal – Pantalla táctil 7”

Identificación de usuario: Código PIN - RFID

Conectividad: Wifi, Ethernet, Bluetooth y 4G

1.5 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Un sistema de distribución consta de las siguientes etapas:

- Generación
- Transmisión
- Distribución
- Utilización de la energía eléctrica

Su función principal es hacer llegar la energía eléctrica desde el sistema de generación hasta los puntos de consumo y que esta energía eléctrica sea entregada al usuario de forma segura y confiable, de acuerdo con los estándares establecidos [15] [16].

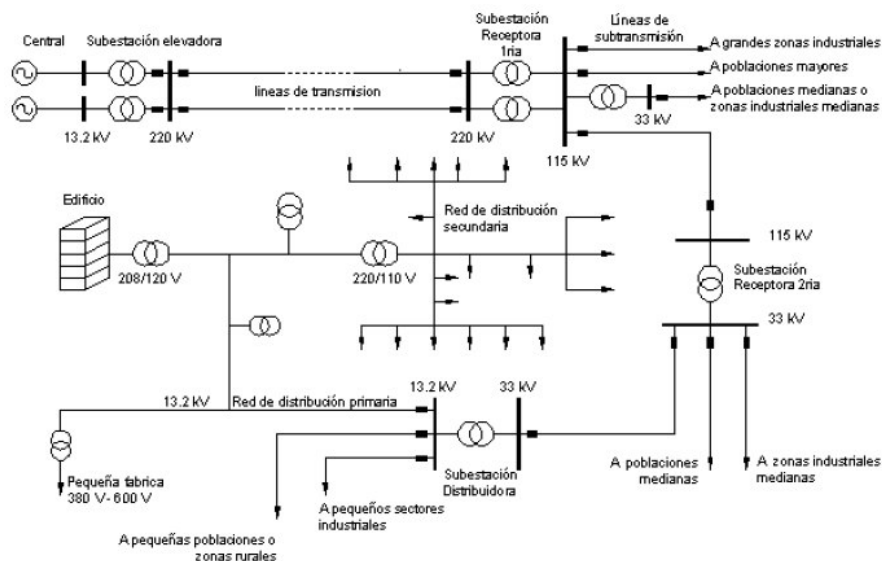


Figura 1.3. Ejemplificación de Redes de Distribución dentro de un SEP. Tomado de “Sistemas de Distribución”, pág. 2.

Las Redes de Distribución están compuestas de:

- a) Subestaciones receptoras secundarias: Son centros de transformación en donde se recepta la energía eléctrica transmitida por las líneas de subtransmisión y de estas Subestaciones salen los circuitos primarios de distribución [15].
- b) Circuitos primarios: Son los encargados de recorrer los diferentes sectores de concesión de las empresas distribuidoras, llevando y suministrando energía eléctrica a los transformadores de distribución. En Ecuador se manejan voltajes en circuitos primarios de: 6.9 [kV], 13.2 [kV], 13.8 [kV], 22.8 [kV] [15].
- c) Transformadores de Distribución: Son elementos eléctricos que van conectados a un circuito primario y son los encargados de brindar energía eléctrica (a un voltaje normalizado) a los usuarios conectados al circuito secundario [15].
- d) Circuito secundario: Son los encargados de distribuir la energía eléctrica a los usuarios finales con voltajes normalizados (110 [V]/220 [V]) [15].

1.5.1 CARGABILIDAD DE UN ALIMENTADOR

Es la capacidad de un alimentador para transportar energía eléctrica en demanda máxima sin problema alguno [16].

Existen diferentes factores que pueden afectar la cargabilidad de un alimentador. Entre ellos tenemos [16]:

- Tasa de crecimiento de la demanda en el alimentador.
- Capacidad de reserva para condiciones de emergencia.
- Calidad del servicio.
- Confiabilidad del servicio.
- Nivel de voltaje del alimentador.
- Capacidad de la subestación de distribución.
- Costos de construcción.

1.5.2 CARGAS NO LINEALES Y ARMÓNICOS EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

Un problema en la actualidad son las cargas no lineales, debido a que los domicilios tienen cada vez más equipos electrónicos que generan este tipo de carga [17].

Como ejemplo de equipos electrónicos que son generadores de cargas no lineales tenemos: computadoras portátiles, calefactores, lámparas fluorescentes, televisores,

cargadores de vehículos eléctricos, etc. Los equipos mencionados son cargas no lineales, debido a que utilizan convertidores AC-DC. El problema que se encuentra con este tipo de cargas es que al estar conectadas a un punto común de la red de distribución da lugar a la generación de corrientes armónicas, las que pueden propagarse a lo largo de la red de distribución y transmisión ocasionando perturbaciones en la calidad del servicio de energía eléctrica [17].

¿Qué son los armónicos?

Los armónicos son ondas de voltaje o corriente con una frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental a la que se alimenta la red. Este tipo de ondas pueden ser descompuestas en la suma de las ondas armónicas y la fundamental [17].

El principal problema con la generación de ondas armónicas en las redes de distribución es que, es el causante de varios problemas para los usuarios del servicio eléctrico y para la empresa distribuidora [17].

Algunos de los problemas que causan los armónicos son [17]:

- Alto consumo de energía eléctrica.
- Equipos electrónicos dañados.
- Disparo de elementos de protección.
- Vibraciones en las cajas eléctricas.
- Recalentamiento de los conductores.

2 METODOLOGÍA

De la mano con la evolución de los vehículos eléctricos viene el mejoramiento y la diversificación de cada una de sus partes, además de todo esto se debe añadir el mejoramiento de las estaciones de recarga para sus baterías; con estas premisas se tiene una idea de la gran cantidad de energía que los vehículos eléctricos demandaran de las redes eléctricas de distribución para su correcto funcionamiento.

Los fabricantes de vehículos eléctricos no se rigen a un solo estándar en cuanto a la fabricación de tipos de conectores y sistemas de recarga de baterías, pero en lo que la mayoría coincide es que, la recarga de las baterías se la realice en modo de carga lenta, porque se alarga la vida útil de las mismas y la recarga se la puede realizar en el hogar de cada usuario.

Como se mencionó en el marco teórico, los vehículos eléctricos son capaces de aprovechar más del 60% de energía que se utiliza para poner en movimiento el automotor en contra de menos del 40% de sus competidores más cercanos, los vehículos con motor de combustión interna. Por esta y muchas otras razones se prevé el ingreso masivo de vehículos eléctricos a los parques automotrices, por lo que es recomendable hacer un estudio del impacto que los vehículos eléctricos van a tener en la cargabilidad de las redes eléctricas de distribución.

2.1 METODOLOGÍA PROPUESTA

2.1.1 ANÁLISIS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y CONSUMIDORES

Los temas más relevantes que se va a realizar en este análisis son:

- Vehículos eléctricos comercializados en el mercado ecuatoriano: Análisis realizado con el fin de conocer las variadas fichas técnicas de los vehículos eléctricos comercializados en el territorio nacional, con el objetivo de dar a conocer la autonomía, potencia, capacidad de la batería y el tiempo de carga de 0 a 100% a un voltaje determinado de cada uno de los vehículos eléctricos.
- Autonomía, distancia promedio diaria de recorrido y consumo energético de un vehículo eléctrico: Dar a conocer los aspectos que diferencian a un vehículo eléctrico de un vehículo con motor de combustión interna. En este análisis se hace mención a un estudio realizado en ciudad, que da a conocer el recorrido que un VE puede realizar en el transcurso del día, facilitando la adquisición de datos.

- Costos y consumo de energía de un vehículo eléctrico: Por estar tanto tiempo en el mercado, los consumidores se han acostumbrado a los costos que demanda tener un vehículo de combustión interna, pero se conoce ¿Cuál sería el costo por el recorrido de un vehículo eléctrico si se tiene como referencia el consumo de combustibles fósiles? En esta parte se muestra un análisis en cuanto a referencias de consumo energético de energía eléctrica en un VE y litros de combustible de origen fósil consumidos por un vehículo con motor de combustión interna.

2.1.2 GENERACIÓN DE PERFILES DE CONSUMIDORES

Existen variados tipos de vehículos eléctricos y variados tipos de consumidores de este producto, es así como se tiene las siguientes actividades relacionadas:

- Estimar la densidad de usuarios por transformador de distribución residencial:
 - Consultar el número de usuarios en la herramienta informática ArcGIS.
 - Comparar el número de usuarios con la base de datos brindada por la empresa distribuidora en el software CYMDIST.
 - Establecer los usuarios finales para cada transformador.
 - Tabular de los resultados obtenidos en una base de datos en el software EXCEL.
- Establecer la posible cantidad de sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos:
 - Por medio de estimaciones visuales, determinar el posible número de sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos que entrarán a formar parte de la carga.
 - Determinar, promediar y tabular un determinado número de sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos por lote de terreno, acometida eléctrica y número de usuarios conectados a cada transformador residencial de la red.
- Determinación de valores de consumo energético (kWh):
 - Analizar estudios realizados anteriormente sobre recorrido, carga y consumo energético en vehículos eléctricos.
 - Determinar un valor promedio de consumo que los usuarios estarían demandando de la red eléctrica.

- Tabular los valores obtenidos en una base de datos en el software EXCEL
- Trabajar estos valores juntamente con los usuarios de cada transformador de distribución para establecer valores promedio modificables.

2.1.3 ANÁLISIS DE LA RED ELÉCTRICA

Para esta etapa se asocian las siguientes actividades:

- Adquirir información técnica de una red eléctrica de distribución.
 - Pedir datos de consumo a la empresa distribuidora de energía eléctrica que es la encargada de leer, contabilizar y tabular los datos de consumo energético de cada una de las cargas acopladas a una red primaria.
 - Estudiar los datos de consumo energético, bases de datos y simulaciones obtenidas de la empresa distribuidora.
- Estudiar la red de distribución sin la incorporación de sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos.
 - Estudiar las bases de datos compartidas por la empresa distribuidora.
 - Estudiar las simulaciones en el software CYMDIST compartida por la empresa distribuidora.
 - Analizar curvas de consumo y demanda en varios escenarios.
- Determinar la cantidad de usuarios con sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos.
 - Estudiar las bases de datos realizadas en el software EXCEL.
 - Determinar los usuarios a los cuales se modificará su consumo energético mensual.
 - Modificar valores de usuarios con sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos.
 - Obtener valores de consumo energético mensual, por usuarios, lotes de terreno, cargas concentradas y fuente de alimentación (S/E).
- Definir los posibles escenarios y ocurrencias de la incorporación de sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos en la red eléctrica.

- Análisis de consumo energético diario de la red, sin la incorporación de sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos (caso de estudio 1).
 - Modificar datos de consumo energético en el software CYMDIST en relación con la base de datos realizada en el software EXCEL.
 - Correr las funciones de Distribución de Carga y Flujos de Potencia con los nuevos datos de consumo en las simulaciones de la red primaria en el software CYMDIST.
 - Obtener datos y resultados de la simulación.
 - Analizar los datos y resultados obtenidos de la simulación.
- Análisis de consumo energético diario de la red, con la incorporación de sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos en el caso de máxima demanda (caso de estudio 2).
 - Modificar datos de consumo energético en el software CYMDIST en relación con la base de datos realizada en el software EXCEL.
 - Correr las funciones de Distribución de Carga y Flujos de Potencia con los nuevos datos de consumo en las simulaciones de la red primaria en el software CYMDIST.
 - Obtener datos y resultados de la simulación.
 - Analizar los datos y resultados obtenidos de la simulación.
- Análisis de consumo energético diario de la red, con la incorporación de sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos en el caso de recarga nocturna de baterías (caso de estudio 3).
 - Modificar datos de consumo energético en el software CYMDIST en relación con la base de datos realizada en el software EXCEL.
 - Correr las funciones de Distribución de Carga y Flujos de Potencia con los nuevos datos de consumo en las simulaciones de la red primaria en el software CYMDIST.
 - Obtener datos y resultados de la simulación.
 - Analizar los datos y resultados obtenidos de la simulación.

- Estudiar otros efectos en la red con la incorporación de sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos (armónicos).
 - Hacer un estudio en bibliografías relacionadas a armónicos que se generan en la red por el uso de sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos.
 - Crear datos de armónicos en la base de datos de la simulación del software CYMDIST.
 - Correr el estudio de armónicos en la red simulada con los parámetros establecidos.
 - Obtener datos y resultados de la simulación.
 - Analizar los datos y resultados obtenidos de la simulación.
- Establecer si es necesario un redimensionamiento en la red mediante el análisis de los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas.

Para realizar las simulaciones de cada escenario, ocurrencia y efectos posteriores a la incorporación de sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos, se hará uso de distintas herramientas informáticas.

En la Figura 2.1 y Figura 2.2 se muestra el diagrama de flujo con el desarrollo metodológico para este trabajo de titulación.

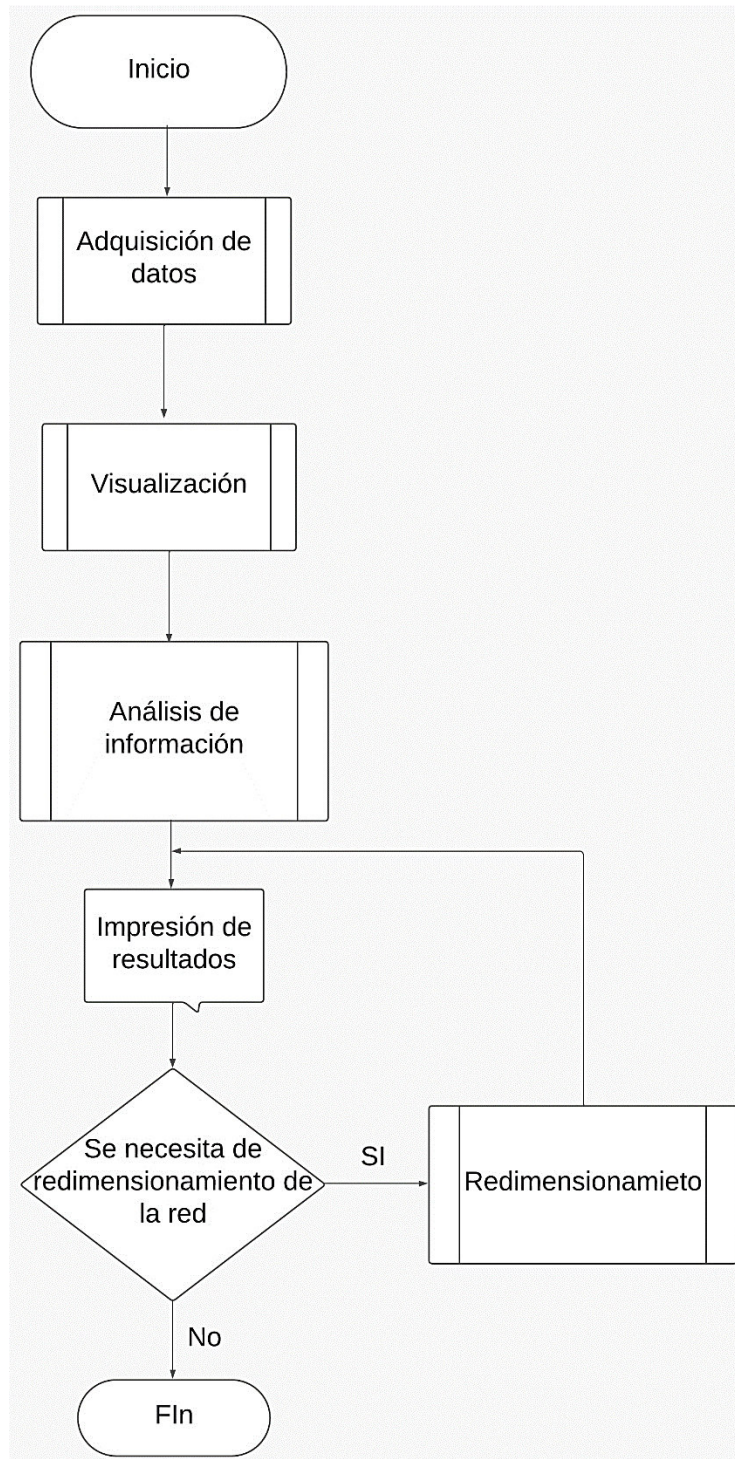


Figura 2.1. Diagrama de flujo con el resumen de la metodología propuesta.

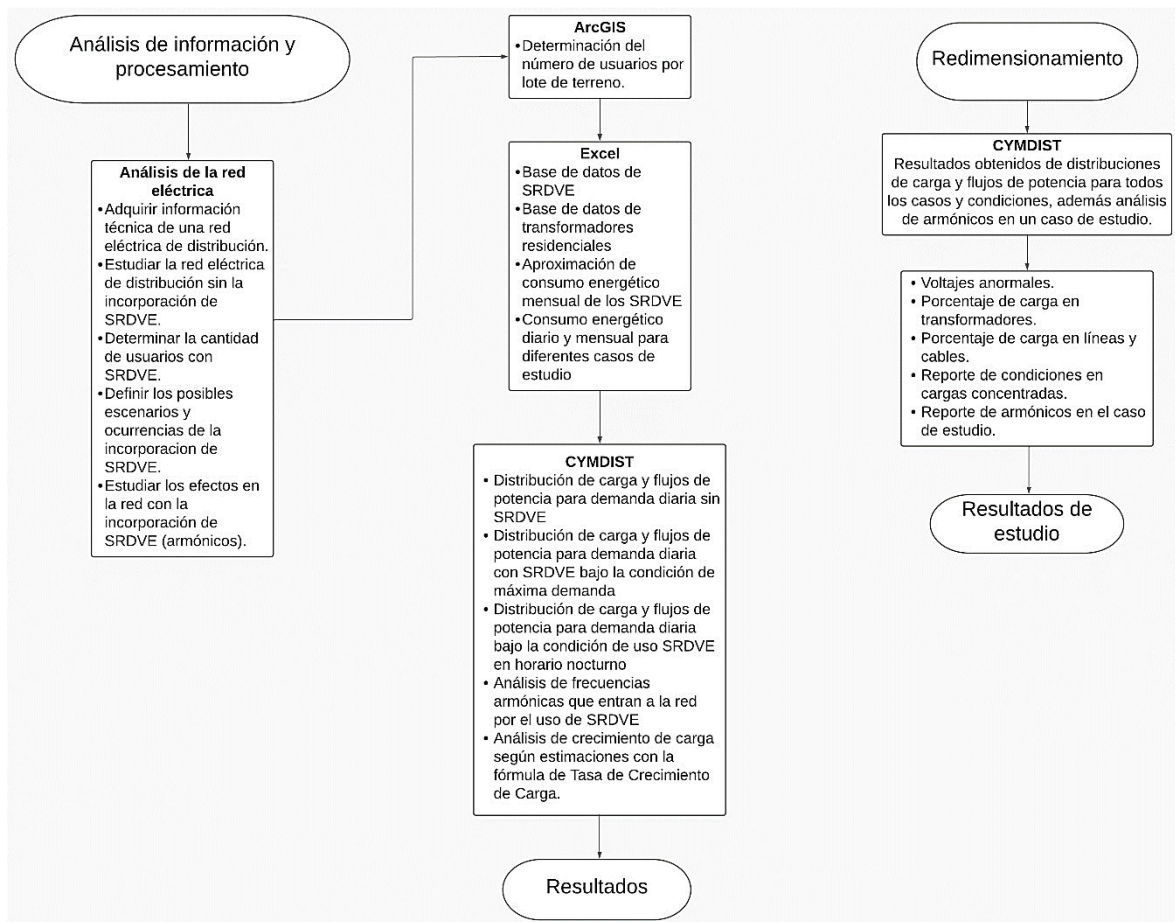
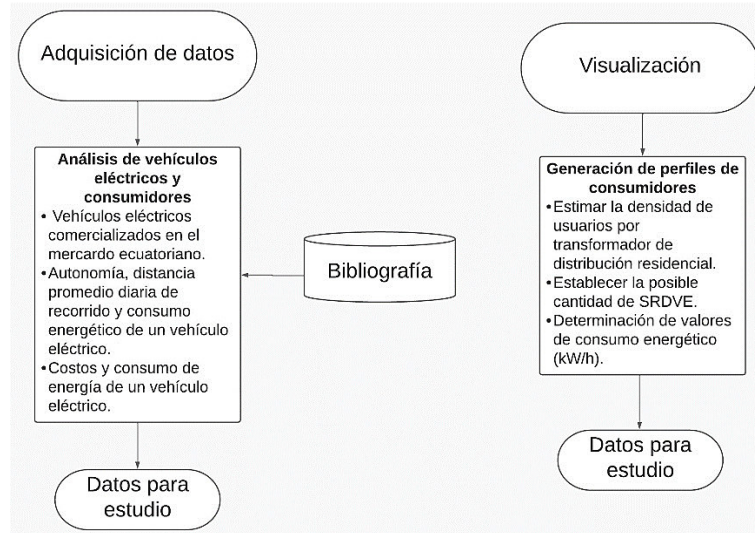


Figura 2.2. Diagrama de procesos dentro de la metodología propuesta.

2.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA A UN CASO DE ESTUDIO

Para este apartado se toma en cuenta los conceptos mencionados en el marco teórico y los conceptos del apartado 2.1 con el propósito de aplicarlos a una red de prueba y a modo de análisis comparativo, verificar que los resultados obtenidos cumplan con los objetivos y la metodología planteada.

Con los temas mencionados anteriormente se va a hacer uso de varias herramientas tecnológicas como son el software ArcGIS perteneciente a la EEQ S.A., el software EXCEL y el software CYMDIST, con los cuales se realizará múltiples estudios en una red de distribución perteneciente a la Empresa Eléctrica Quito S.A. (21C).

Utilización del software ArcGIS

- Localización de transformadores de distribución en la red eléctrica 21C.
- Determinación del número total de usuarios dentro de las cargas concentradas correspondientes a cada transformador de distribución.

Utilización del software EXCEL

- Generación de una base de datos para determinar el número de usuarios con sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos
- Cálculo de un valor aproximado de consumo de potencia en cada transformador residencial.
- Simplificación de cálculos y valores de carga y potencia para los casos de estudio planteados.

Utilización del software CYMDIST

- Aplicación de distribución de carga y flujos de potencia para demanda diaria sin la incorporación de los sistemas de recarga domiciliarios para vehículos eléctricos.
- Aplicación de distribución de carga y flujos de potencia para demanda diaria bajo la condición de máxima demanda (haciendo uso del 100% de la carga).
- Aplicación de distribución de carga y flujos de potencia para demanda diaria bajo la condición de uso de los sistemas de recarga domiciliarios para vehículos eléctricos en horario nocturno.

- Análisis de frecuencias armónicas que entran a la red por el uso de los sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos.
- Análisis de crecimiento de carga según estimaciones con la fórmula de Tasa de Crecimiento de Carga.

Estos estudios se los realiza con el fin de visualizar los problemas que puede ocasionar la incorporación de sistemas de recarga domiciliaria para VE en esta red de distribución (21C)

La red de distribución en análisis pertenece a la Subestación Epiclachima (21) y el ramal primario en análisis es el 21C, perteneciente al sur del Distrito Metropolitano de Quito.

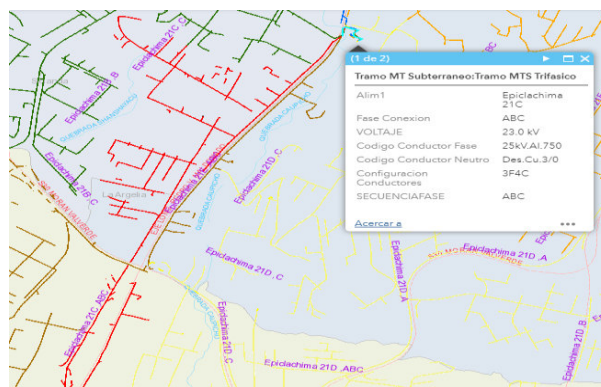


Figura 2.3. Ramal primario 21C (red de 22.8 kV en rojo) derivado de la Subestación Epiclachima (21) perteneciente a la Empresa Eléctrica Quito S.A. “Imagen tomada de WEBGIS de la EEQ”.

El redimensionamiento y cambio de equipos en algunas redes secundarias de distribución de energía eléctrica es un problema que necesita de soluciones técnicas, debido a que los usuarios cada vez demandan más energía en vista del creciente índice en el consumo eléctrico.

2.2.1 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS COMERCIALIZADOS EN EL MERCADO ECUATORIANO

En Ecuador priman vehículos eléctricos de orígenes europeo, chino y coreano, por este motivo y debido a que Ecuador no tiene una política de estandarización para conectores de vehículos eléctricos y sistemas de recarga domiciliarios los conectores y sistemas de recarga domiciliarios son de diferentes tipos [18].

Según [18], existen diferentes concesionarios que comercializan automóviles eléctricos de diferentes marcas y fabricantes. Haciendo una tabla resumen de las características más relevantes de los automóviles eléctricos que se comercializan en el país se tiene:

Tabla 2.1. Características técnicas de automóviles eléctricos comercializados en Ecuador.

MODELO	CARACTERÍSTICA	VALOR
AUTOMÓVILES CON AUTONOMÍA MAYOR A 350 [km]		
SKYWELL ET5	AUTONOMÍA	520 [km]
	POTENCIA	150 [kW]
	CAPACIDAD DE BATERÍA	71.98 [kWh]
	TIEMPO DE CARGA DE 0 A 100%	11[h]/220[V] Y 0.5[h]/380[V]
AUDI E-TRON	AUTONOMÍA	441 [km]
	POTENCIA	300 [kW]
	CAPACIDAD DE BATERÍA	71 [kWh]
	TIEMPO DE CARGA DE 0 A 100%	11[h]/220[V] Y 0.5[h]/380[V]
BYD E5 400	AUTONOMÍA	400 [km]
	POTENCIA	160 [kW]
	CAPACIDAD DE BATERÍA	62 [kWh]
	TIEMPO DE CARGA DE 0 A 100%	7[h]/220[V] Y 0.5[h]/380[V]
BYD S2	AUTONOMÍA	400 [km]
	POTENCIA	70 [kW]
	CAPACIDAD DE BATERÍA	42 [kWh]
	TIEMPO DE CARGA DE 0 A 100%	6[h]/220[V] Y 1[h]/380[V]
BYD E3 GL 400	AUTONOMÍA	400 [km]
	POTENCIA	70 [kW]
	CAPACIDAD DE BATERÍA	47.3 [kWh]
	TIEMPO DE CARGA DE 0 A 100%	6.5[h]/220[V]
AUTOMÓVILES CON AUTONOMÍA ENTRE 200 Y 350 [km]		
MG ZSEV	AUTONOMÍA	334 [km]
	POTENCIA	110 [kW]
	CAPACIDAD DE BATERÍA	44 [kWh]
	TIEMPO DE CARGA DE 0 A 100%	6.5[h]/220[V] Y 1[h]/380[V]
BYD E2	AUTONOMÍA	305 [km]
	POTENCIA	70 [kW]
	CAPACIDAD DE BATERÍA	35.2 [kWh]
	TIEMPO DE CARGA DE 0 A 100%	7[h]/220[V] Y 1[h]/380[V]
HANTENG X5 EV	AUTONOMÍA	300 [km]
	POTENCIA	95 [kW]
	CAPACIDAD DE BATERÍA	--- [kWh]
	TIEMPO DE CARGA DE 0 A 100%	14[h]/220[V]

MODELO	CARACTERÍSTICA	VALOR
NISSAN LEAF	AUTONOMÍA	270 [km]
	POTENCIA	110 [kW]
	CAPACIDAD DE BATERÍA	40 [kWh]
	TIEMPO DE CARGA DE 0 A 100%	6 a 8[h]/220[V]
KIA SOUL EV	AUTONOMÍA	200 [km]
	POTENCIA	81.4 [kW]
	CAPACIDAD DE BATERÍA	27 [kWh]
	TIEMPO DE CARGA DE 0 A 100%	5[h]/220[V] Y 45[min]/380[V]
MODELO	CARACTERÍSTICA	VALOR
AUTOMÓVILES CON AUTONOMÍA MENOR A 200 [km]		
XINGXIANG H6	AUTONOMÍA	165 [km]
	POTENCIA	4 [kW]
	CAPACIDAD DE BATERÍA	7.5 [kWh]
	TIEMPO DE CARGA DE 0 A 100%	-----
ZOTYE DOMY E30	AUTONOMÍA	160 [km]
	POTENCIA	13.5 [kW]
	CAPACIDAD DE BATERÍA	16 [kWh]
	TIEMPO DE CARGA DE 0 A 100%	6 a 8[h]/220[V]
JIAYUAN CITY SPIRIT	AUTONOMÍA	100 a 120 [km]
	POTENCIA	7.5 [kW]
	CAPACIDAD DE BATERÍA	--- [kWh]
	TIEMPO DE CARGA DE 0 A 100%	8[h]/110[V]
DAYANG CHOK-G2	AUTONOMÍA	100 [km]
	POTENCIA	6 [kW]
	CAPACIDAD DE BATERÍA	--- [kWh]
	TIEMPO DE CARGA DE 0 A 100%	8[h]/110[V] Y 6[h]/220[V]
RENAULT TWIZY	AUTONOMÍA	100 [km]
	POTENCIA	13 [kW]
	CAPACIDAD DE BATERÍA	6.1 [kWh]
	TIEMPO DE CARGA DE 0 A 100%	3.5[h]/220[V]
ZHIDPU D1	AUTONOMÍA	100 [km]
	POTENCIA	18 [kW]
	CAPACIDAD DE BATERÍA	--- [kWh]
	TIEMPO DE CARGA DE 0 A 100%	6[h]/220[V]

2.2.2 AUTONOMÍA, DISTANCIA PROMEDIO DIARIA DE RECORRIDO Y CONSUMO ENERGÉTICO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

Se considera pruebas de consumo realizadas en un vehículo eléctrico para la ciudad de Quito, estas fueron ejecutadas por parte de la empresa Correos del Ecuador

- **Movilización diaria de un automóvil eléctrico.** Por motivos de estudio, se tomará en cuenta que no existe la infraestructura para la recarga de baterías de automóviles eléctricos a lo largo de la vía pública y la única forma de recargar las baterías de los vehículos eléctricos es con los sistemas de recarga domiciliarios.

Como ejemplo de consumo por recorrido de un automóvil eléctrico, la empresa NISSAN- RENAULT realizó pruebas en la ciudad de Quito con su modelo eléctrico KANGOO, que es un automóvil que se ajustó a las necesidades de la empresa Correos del Ecuador [19].



Figura 2.4. RENAULT KANGOO ZE utilizado por la empresa CORREOS DEL ECUADOR.

Tabla 2.2. Características técnicas RENAULT KANGOO ZE.

Autonomía NEDC	200 km
Torque	226 Nm
Potencia	44 kW
Velocidad máxima	120 km/h
Tipo de batería	ION - LITIO
Capacidad de batería	33 kWh
Garantía de la batería	IND
Tiempo de carga de 0 a 100%	6-8 h/220 V

El promedio de autonomía del Renault Kangoo ZE es de 200 [km] sin usar algún tipo de sistema de recarga de baterías. Se hizo la prueba de uso de este vehículo para el recorrido diario de la empresa CORREOS DEL ECUADOR y según los resultados obtenidos por la empresa, el promedio diario de recorrido del vehículo en la ciudad de Quito fue de 60 [km], lo que arroja como resultado una utilización promedio del vehículo por 3 días, con el total de la autonomía y sin una recarga de baterías [19].

- **Potencia para la recarga de baterías.** Los sistemas de recarga de baterías administran una potencia de 7.4 [kW] – 32 [A] en un sistema de 110 [V] y 11 [kW] – 16 [A] en un sistema de 220 [V], dan al usuario la libertad de escoger la gama que más se adecúe a sus necesidades y conveniencias.
- **Horarios para la recarga de baterías.** Con este caso de estudio en particular se hará uso de sistemas de recarga domiciliarios programables, ya que estos permiten al usuario programar un horario de recarga en particular. Debido a esto, la recarga de baterías se realizaría en el horario nocturno, ya que en el día los usuarios viajan a sus lugares de trabajo y los automóviles permanecen guardados en los estacionamientos.

2.2.3 CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS

Para hacer el análisis de costos y consumo de energía eléctrica por parte de un vehículo eléctrico, se considera la distancia recorrida por consumo de energía. En el caso de los vehículos de combustión interna, el consumo se mide en litros de combustible por cada intervalo de distancia (litros/100 km) y en el caso de los vehículos eléctricos el consumo se lo mide en energía consumida por cada intervalo de distancia (kWh/100 km) [20].

Los valores de consumo típico de un vehículo eléctrico están entre los 12 y 20 [kWh/100 km]; este consumo equivale a 6 planchas eléctricas de ropa funcionando todas a la vez. Las personas podrían imaginar que es un consumo de energía eléctrica exagerado, pero esto se lo ve desde el nivel residencial, mas no desde el consumo económico de un vehículo. Llevando más allá el análisis propuesto, un litro de gasolina es el equivalente a 9.7 [kWh] se toma en cuenta que el tanque de combustible de un automóvil normal se llena con aproximadamente 60 litros, se tendrá una energía total de 582 [kWh] visto desde el punto de la gasolina [20]. Comparando con la batería del vehículo eléctrico comercializado en Ecuador que más energía eléctrica es capaz de almacenar, dando un total de 71.98 [kWh], existe una diferencia de más del 700% en cuanto a rendimiento de energía [18].

Haciendo un análisis comparativo de costos y consumos de energía entre vehículos de combustión interna y eléctricos, se hizo la símil entre el nuevo modelo 2021 KIA Sportage

con motor a gasolina de 2400 [cc] [21], el modelo 2021 Hyundai Santa Fe motor turbo diésel 2200 [cc] [24] y el vehículo eléctrico SKYWELL ET5 [18], de los cuales posteriormente se presentará los resultados de los análisis realizados.

Como se mencionó en apartados anteriores, la diferencia en el consumo de energía se da porque los vehículos de combustión interna solo aprovechan entre el 30 y 40% de la energía total mientras que el resto de energía se va al medio ambiente en forma de calor, mientras que, en el caso de los vehículos eléctricos la energía total aprovechada es de más del 90% [2].

En la Tabla 2.3 de pliegos tarifarios establecidos por la Empresa Eléctrica Quito se tiene los valores establecidos para consumidores residenciales según la demanda eléctrica [23]:

Tabla 2.3. Pliego tarifario para consumidores residenciales EEQ (enero de 2019).

RANGO DE CONSUMO [kWh]	CARGOS TARIFARIOS [USD]	DESCRIPCIÓN	COMERCIALIZACIÓN [USD/Consumidor]
TARIFAS BAJA Y MEDIA TENSIÓN			
RESIDENCIAL		Se aplica a los consumidores sujetos a la categoría de tarifa residencial, independiente de la carga conectada.	
1-50	0.091	Por cada kWh de consumo en el mes.	1.414
51-100	0.093	Por cada uno de los siguientes 50 kWh de consumo.	
101-150	0.095	Por cada uno de los siguientes 50 kWh de consumo.	
RANGO DE CONSUMO [kWh]	CARGOS TARIFARIOS [USD]	DESCRIPCIÓN	COMERCIALIZACIÓN [USD/Consumidor]
TARIFAS BAJA Y MEDIA TENSIÓN			
RESIDENCIAL		Se aplica a los consumidores sujetos a la categoría de tarifa residencial, independiente de la carga conectada.	
151-200	0.097	Por cada uno de los siguientes 50 kWh de consumo.	1.414
201-250	0.099	Por cada uno de los siguientes 50 kWh de consumo.	
251-300	0.101	Por cada uno de los siguientes 250 kWh de consumo.	
301-350	0.103	Por cada uno de los siguientes 200 kWh de consumo.	
351-500	0.105	Por cada uno de los siguientes 300 kWh de consumo.	
501-700	0.1285	Por cada uno de los siguientes 500 kWh de consumo.	
701-1000	0.1450	Por cada uno de los siguientes 700 kWh de consumo.	
1001-1500	0.1709	Por cada uno de los siguientes 1000 kWh de consumo.	
1501-2500	0.2752	Por cada uno de los siguientes 1500 kWh de consumo.	

RANGO DE CONSUMO [kWh]	CARGOS TARIFARIOS [USD]	DESCRIPCIÓN	COMERCIALIZACIÓN [USD/Consumidor]
2501-3500	0.4360	Por cada uno de los siguientes 2500 kWh de consumo.	
3501 y superior	0.6812	Por cada uno de los siguientes kWh de consumo en el mes.	
Subsidio cruzado	1.8	Descuento aplicado a los abonados que consumen de 1 a 130 kWh/mes.	
Subsidio solidario	10%	A los abonados que consumen desde 161 kWh en adelante.	
Subsidio tarifa dignidad	0.04	A los abonados que consumen de 1 hasta 110 kWh/mes pagarán un máximo de \$0.04 por kWh y \$0.70 por comercialización.	0.70

2.2.3.1 COMPARATIVO DE COSTOS

Los resultados obtenidos en [21] para el modelo KIA Sportage fue de 10.3 [km/l] que da un total de 9.7 [l/100 km], según [20] este resultado pasándolo a consumo de energía eléctrica es igual a 94.09 [kWh/100 km]. La ficha técnica del fabricante del modelo SKYWELL ET5 indica que, su autonomía es de 520 [km] y la capacidad de la batería es de 71.98 [kWh], lo que arroja un total de 13.84 [kWh/100 km] [18].

Según los costos actuales de combustibles y energía eléctrica, el automóvil eléctrico es considerado el vehículo que más ahorra en cuanto a movilidad. Si consideramos que para un vehículo a gasolina por cada 100 [km] de recorrido se consume en promedio de 9.7 litros de gasolina que tiene un valor de 6.53 [USD], mientras que en un vehículo eléctrico el consumo sería de apenas 1.78 [USD] por cada 100 [km] de recorrido.

En el caso de los vehículos a diésel se ha hecho esta comparativa con el Hyundai Santa Fe 2021 con motor turbo diésel de 2200 [cc]. Se sabe que los consumos de combustible en los automóviles a diésel son menores, debido al bajo régimen de revoluciones en que trabaja el motor y al alto torque que este desarrolla, además que el diésel se comercializa en Ecuador a un valor de mercado de 1.90 [USD]. Estos vehículos tienen un promedio de recorrido de 13 [km/l] con lo que se obtiene un consumo de 8.1 litros de diésel por cada 100 [km] de recorrido, así se determina un valor de 4.10 [USD] por esta distancia. Por otro lado, un litro de diésel en promedio es 10.7 kWh de electricidad [24].

En consideración de los valores de consumo entre un vehículo a diésel y uno de los valores más alto del pliego tarifario para el sector residencial (0.2752 [USD]), se obtiene como resultado un consumo de 4.10 [USD] para el vehículo a diésel y 3.81 [USD] para el vehículo eléctrico. Aún con este ejemplo y estas consideraciones, los valores de consumo del vehículo eléctrico son bajos en comparación a los vehículos de combustión interna.

A continuación, se detalla en la Tabla 2.4 los valores de consumo para cada uno de los vehículos mencionados.

Tabla 2.4. Comparaciones de consumo y gastos con diferentes tipos de combustible

Modelo	Combustible	Consumo	Equivalente eléctrico	Gasto
KIA Sportage	Gasolina (\$2.55)	9.7 l/100 km	94.09 kWh/100 km	6.53 USD/100 km
Hyundai Santa Fe	Diésel (\$1.90)	8.1 l/100 km	86.67 kWh/100 km	4.10 USD/100 km
SKYWELL ET5	Electricidad (\$0.1285)		14 kWh/100 km	1.80 USD/100 km

Tomando en consideración lo mencionado en el apartado 2.2.5, 2.2.1 y 2.2.4 se puede definir un valor promedio de 18 [kWh] por cada 100 [km] de carga de batería para cualquier modelo de vehículo eléctrico, además que, según la investigación realizada por la empresa CORREOS DEL ECUADOR el promedio de uso de un vehículo eléctrico en la ciudad de QUITO es de 60 km en un día, lo que da un consumo de 10.8 [kWh], además se tomará como referencia 30 días en el mes.

A continuación, en la Tabla 2.5 se hace detalle de los datos tomados y cálculos realizados para obtener un valor promedio de uso de la energía eléctrica y costos mensuales.

Tabla 2.5. Tabla de datos y referencia concerniente al consumo energético de un vehículo eléctrico.

DATOS	REFERENCIA
Días en el mes	30
Consumo energético diario [kWh]	10.8
Distancia diaria recorrida [km]	60
CÁLCULOS TOTALES	
Distancia recorrida en un mes [km]	1800
Consumo energético mensual [kWh]	324

Categoría de estratos de consumo. Son rangos definidos en los que se considera el valor de consumo [kWh/mes/cliente] que se registra por la utilización de aparatos eléctricos de uso general y aparatos de calentamiento de agua [25].

Según [25] definido en la sección A-11 PARÁMETROS DE DISEÑO, los estratos de consumo se definen de la siguiente manera.

Tabla 2.6. Categoría de estratos de consumo.

Categoría de Estrato de Consumo	Escalas (kWh/mes/cliente)
E	0-100
D	101-150
C	151-250
B	251-350
A	351-500
A1	501-900

Haciendo uso del mapa de Distribución de Estratos de Consumo en el Área de Concesión de la Empresa Eléctrica Quito S.A. (Sección A-11-A) [25], se puede definir la categoría de estrato de consumo que rige en el área donde se ubica la red 21C, es así que, los estratos predominantes para los usuarios son el Estrato D y Estrato C.

Conociendo los datos de la categoría de estratos de consumo y consumo energético mensual de un vehículo eléctrico, se analiza la Tabla 2.3 del pliego tarifario de la Empresa Eléctrica Quito S.A. y de esta manera se define los rangos de consumo y los cargos tarifarios con la inclusión de sistemas de recarga domiciliaria para VE para cada usuario. El costo por cada kWh consumido sería de entre 0.0994 y 0.1285 [USD] teniendo un consumo mensual de 251-500 y 501-700 [kWh].

Con este análisis se obtiene los siguientes valores por utilización mensual de sistemas de recarga domiciliarios para vehículos eléctricos.

Tabla 2.7. Valores de consumo mensual y costos por utilización de sistemas de recarga domiciliarios para vehículos eléctricos.

Rango de consumo [kWh]	Cargo tarifario [USD]	Consumo mensual [kWh]	Costo total [USD]
251-500	0.0994	324	32.2056
501-700	0.1285	324	41.634

2.2.4 GENERACIÓN DE PERFILES DE CONSUMIDORES

Con las referencias de automóviles eléctricos comercializados en Ecuador se tiene una idea del consumo de energía eléctrica por parte de estos. En base a estas referencias se podrá definir los perfiles de los consumidores de automóviles eléctricos.

2.2.5 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE USUARIOS

Para este estudio, el número de sistemas de recarga domiciliarios para vehículos eléctricos que van a ser incorporados a la red será una aproximación, debido a que, por observación de los barrios, casas y usuarios que están conectados a esta red existe un promedio de dos automóviles de combustión interna por lote de terreno, conociendo que algunas casas no cuentan con automóviles y otras son de tipo renteras y por este motivo tienen más de 2 automóviles en sus patios. De esta manera, el número de sistemas de recarga domiciliarios va a ser determinado mediante el uso del sistema ArcGIS de la EEQ S.A. conociendo los lotes de terreno (usuarios) y los transformadores acoplados a cada uno, también se hará uso del número de usuarios conocidos en la carga concentrada que está simulada en la red de distribución 21C del software CYMDIST.

Haciendo uso del sistema ArcGIS de la Empresa Eléctrica Quito S.A. se observó que cada acometida de cada lote que está acoplado a la red de distribución 21C tiene conectados desde uno hasta más de seis usuarios, por este motivo se ha decidido que se tomará al azar dos usuarios de cada una de las acometidas con múltiples usuarios y, para las acometidas que tienen un usuario se hará la simulación con dos sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos. Con esta consideración el sistema no se verá afectado y la carga se distribuirá de manera equitativa para toda la red, debido a que esto afecta a la red de bajo voltaje y a los transformadores que la alimentan.

Para dar veracidad al número de usuarios conectados a cada una de las acometidas tomadas de la red de distribución 21C, en las siguientes imágenes tomadas del ArcGIS de la Empresa Eléctrica Quito S.A. se presenta dos diferentes lotes de terreno, cada una de ellas con distinto número de usuarios (medidores).

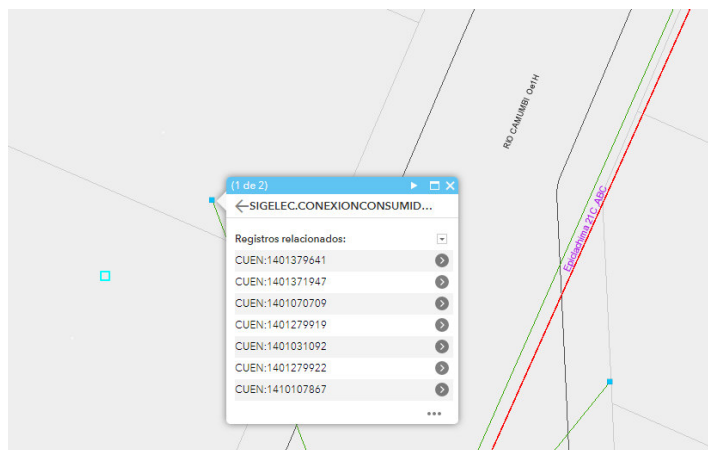


Figura 2.5. Acometida con varios usuarios acoplados.

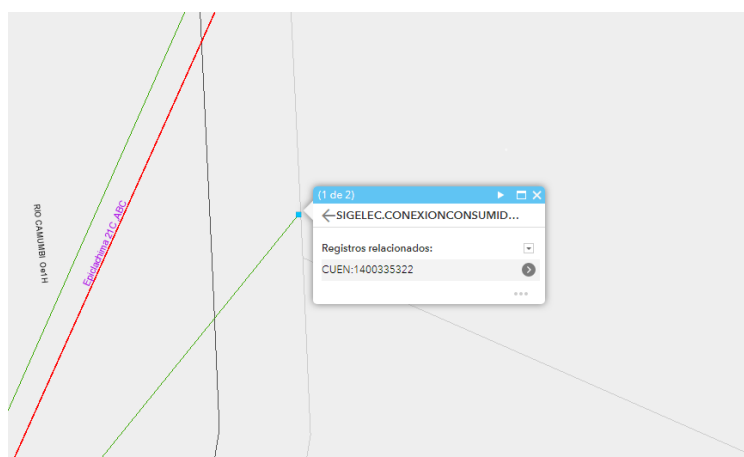


Figura 2.6. Acometida con un usuario acoplado.

Estos datos son tomados de una red de bajo voltaje del transformador N°15482 que se conecta a la red de medio voltaje 21C. Se decidió tomar de forma aleatoria a los usuarios porque en la simulación de esta red proporcionado por la Empresa Eléctrica Quito S.A. los usuarios están ubicados de forma desordenada y colocados en un solo punto como una carga concentrada.

En la siguiente imagen tomada de la simulación del ramal 21C hecho en el software CYMDIST, se puede visualizar la manera en que los usuarios están ubicados de forma global y desordenada a como se encuentran en el programa ArcGIS.

Número del cliente	Tipo de cliente	Bloqueado	Estado	Año	Prioridad normal	Prioridad de emergencia	Fase	litros reales	litros com.	litros	# cliente	
140071909	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0.06	0.02	0.43	38.15	1.0
							B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
							C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
140127309	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0.06	0.02	0.43	38.23	1.0
							B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
							C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
140033641	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0.06	0.02	0.43	148.69	1.0
							B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
							C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
140107904	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0.06	0.02	0.43	45.23	1.0
							B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
							C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
140070797	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0.06	0.02	0.43	123.92	1.0
							B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
							C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
140119029	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0.06	0.02	0.43	102.02	1.0
							B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
							C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
140042902	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0.06	0.02	0.43	124.46	1.0
							B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
							C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
140043530	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0.06	0.02	0.43	108.85	1.0
							B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
							C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
140039580	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0.06	0.02	0.43	80.54	1.0
							B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
							C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figura 2.7. Simulación de la red 21C con visualización de la carga concentrada N°25988 y los usuarios conectados a la red de bajo voltaje del transformador N°15482

2.3 ANÁLISIS DE LA RED ELÉCTRICA DE ESTUDIO 21C

El ramal primario 21C perteneciente a la Subestación Epiclachima está representada mediante una red eléctrica que cuenta con una fuente simulada que es la Subestación Epiclachima (21), 141 transformadores, 141 cargas concentradas (cabe mencionar que las cargas concentradas es el total de usuarios conectados a los transformadores existentes en la red), 187 fusibles, 4 interruptores automáticos, 3 reconectores y 15 seccionadores.

2.3.1 CONSUMO DE POTENCIA EN LA RED ELÉCTRICA

Haciendo un análisis del consumo de potencia en el mes de enero de los años 2019 y 2020 mediante los datos proporcionados por la EEQ S.A. se tiene las siguientes curvas de consumo de potencia.

A continuación, se presenta las curvas de consumo de potencia del ramal 21C perteneciente a la Subestación Epiclachima (21), estas curvas de consumo de potencia están dadas para las fechas 09/01/2019 y 08/01/2020, debido a que estas fechas tienen lugar los miércoles respectivamente. También se presenta las curvas de consumo en el mes de enero entre los años 2019 y 2020 para hacer una comparación de consumo mensual y observar los días con tendencias de consumo mayor y menor.

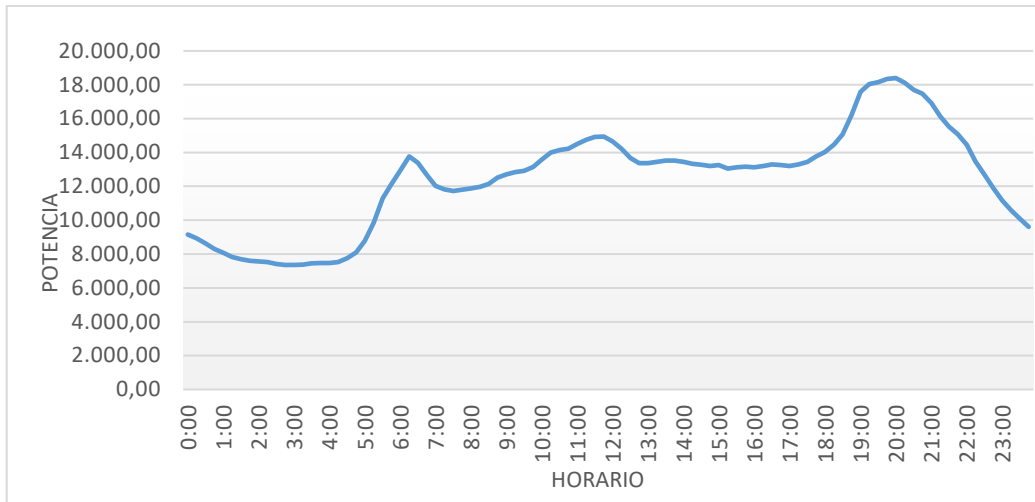


Figura 2.8. Curva de consumo de potencia diaria (09/01/2019) “Datos proporcionados por EEQ S.A.”

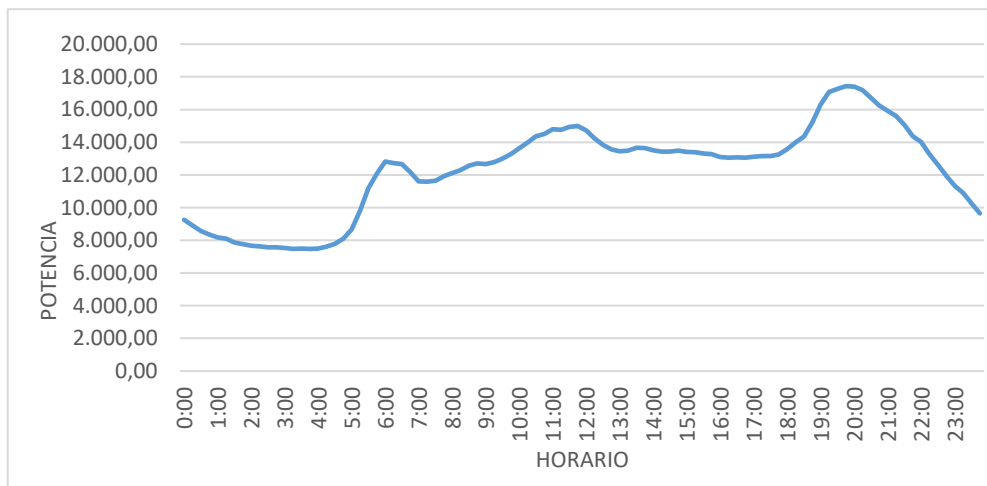


Figura 2.9. Curva de consumo de potencia diaria (08/01/2020) “Datos proporcionados por EEQ S.A.”

Los datos proporcionados por la Empresa Eléctrica Quito S.A. y los gráficos de curvas de potencia diaria obtenidos de los mismos, ayuda a determinar los niveles de consumo de potencia durante todo el día para todos los usuarios conectados a la red 21C. para el análisis con el software CYMDIST, se va a utilizar estos niveles de consumo de potencia en forma de porcentaje para determinar las variaciones en el consumo de energía eléctrica por parte de la carga.

En las Figura 2.8 y Figura 2.9 se puede observar que no se presenta un cambio significativo en los picos diarios del consumo de potencia mensual (enero).

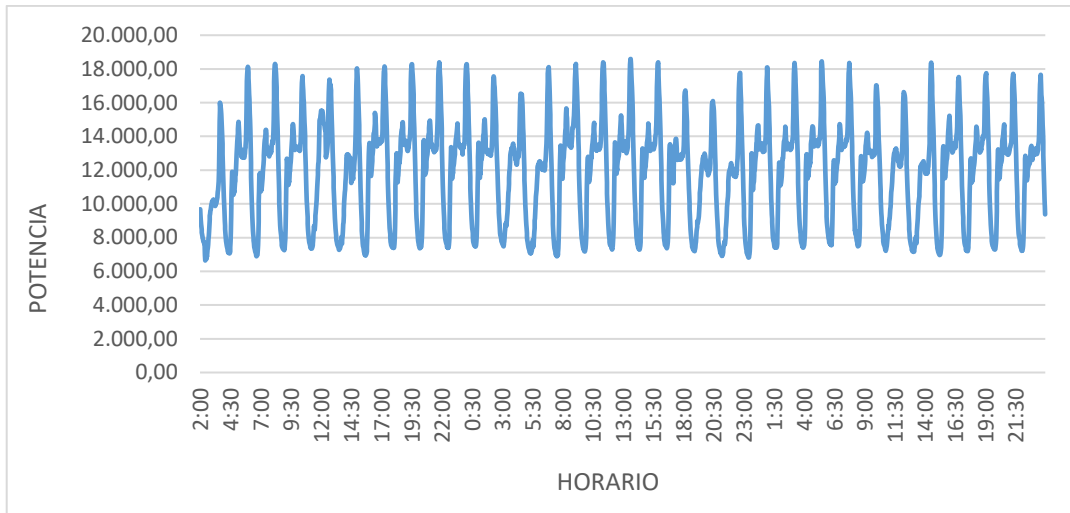


Figura 2.10. Curva de consumo de potencia mensual (enero de 2019) “Datos proporcionados por EEQ S.A.”

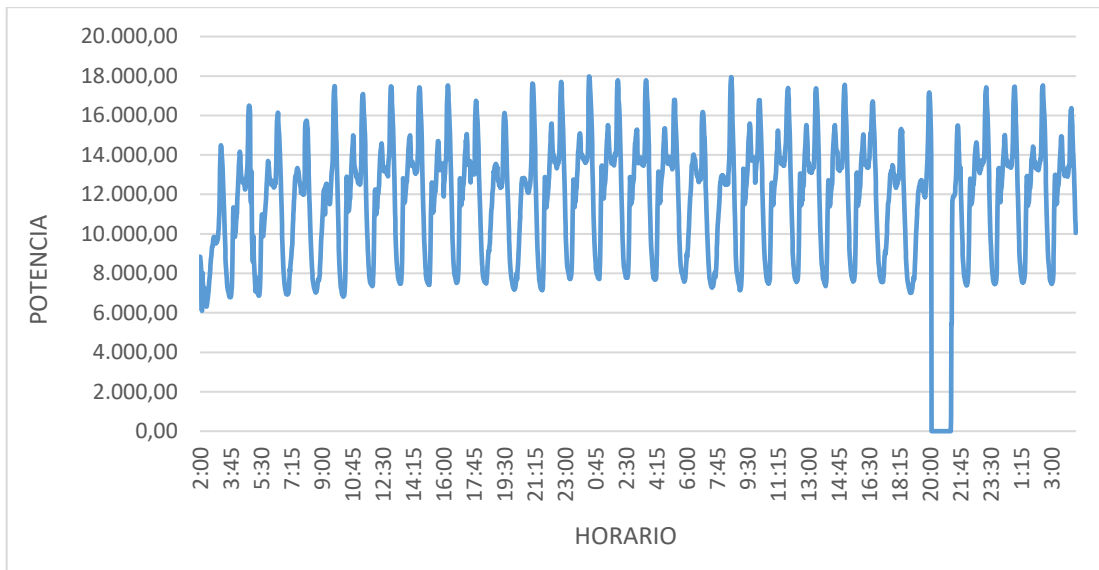


Figura 2.11. Curva de consumo de potencia mensual (enero de 2020) “Datos proporcionados por EEQ S.A.”

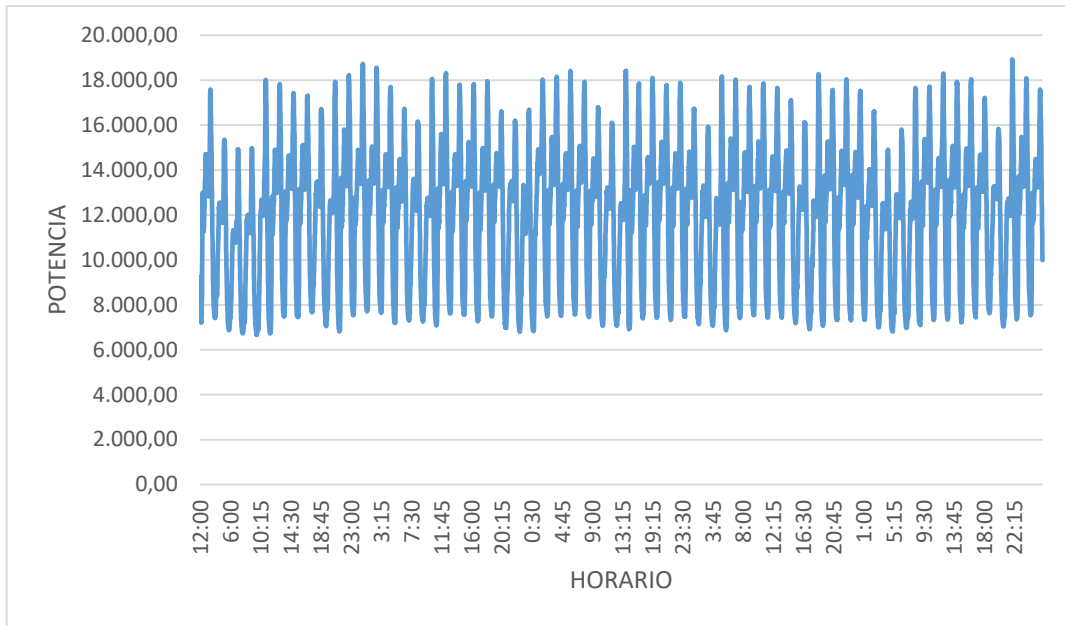


Figura 2.12. Curva de consumo de potencia mensual (marzo-abril de 2019) “Datos proporcionados por EEQ S.A.”

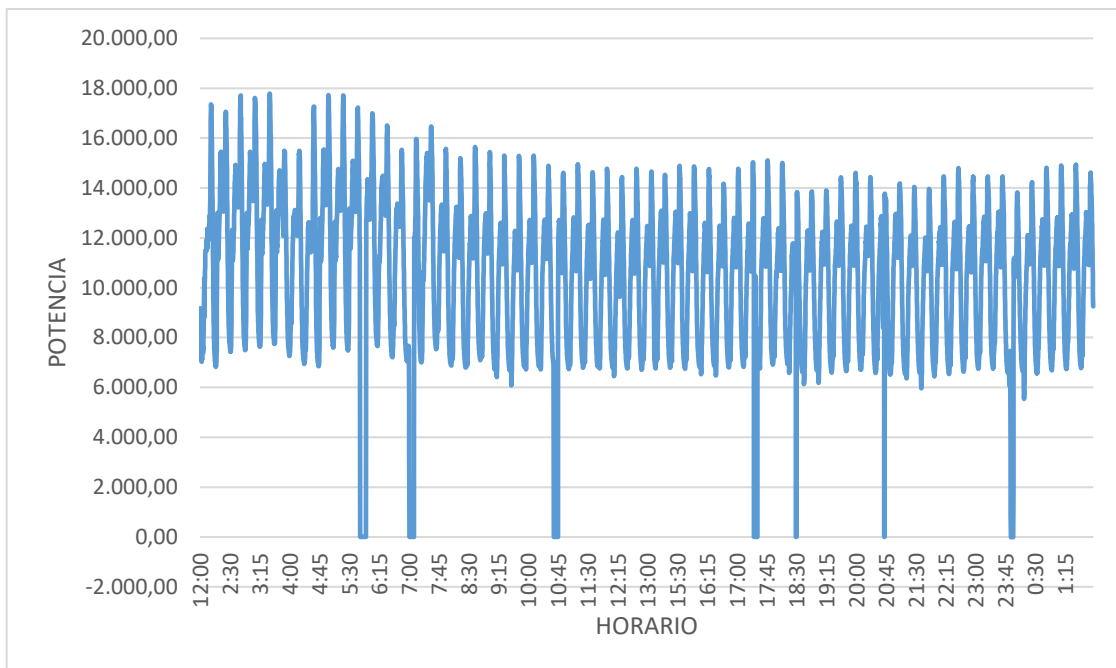


Figura 2.13. Curva de consumo de potencia mensual (marzo-abril de 2020) “Datos proporcionados por EEQ S.A.”

En las Figura 2.10 y Figura 2.11 correspondientes al mes de enero de los años 2019 y 2020, las curvas de consumo de potencia observadas son muy parecidas, debido a que se puede evidenciar claramente que los picos de potencia están rondando los 18000 [W], lo

que no se puede observar en las Figura 2.12 y Figura 2.13 de los meses de marzo y abril de los mismos años, porque a que a partir del mes de marzo del año 2020 el mundo entró en cuarentena total debido a la pandemia ocasionada por el virus SARSCOV-2. Como se observa en las gráficas de los meses de marzo y abril del año 2019 y 2020, el consumo de potencia para el año 2020 se ve disminuido considerablemente, siendo esta de un pico máximo de potencia que ronda los 15000 [W] en comparación de los 18000 [W] de mismo mes en el año 2019.

2.3.2 SIMULACIÓN DE LA RED 21C EN EL SOFTWARE CYMDIST

Para la simulación de la red 21C con todos los parámetros de diseño, se recurrió a los diseños de la EEQ S.A., debido a que ellos manejan las cargas mensuales y los usuarios acoplados a esta red.

En la Figura 2.14 se representa la red 21C graficada y simulada en el Software CYMDIST.

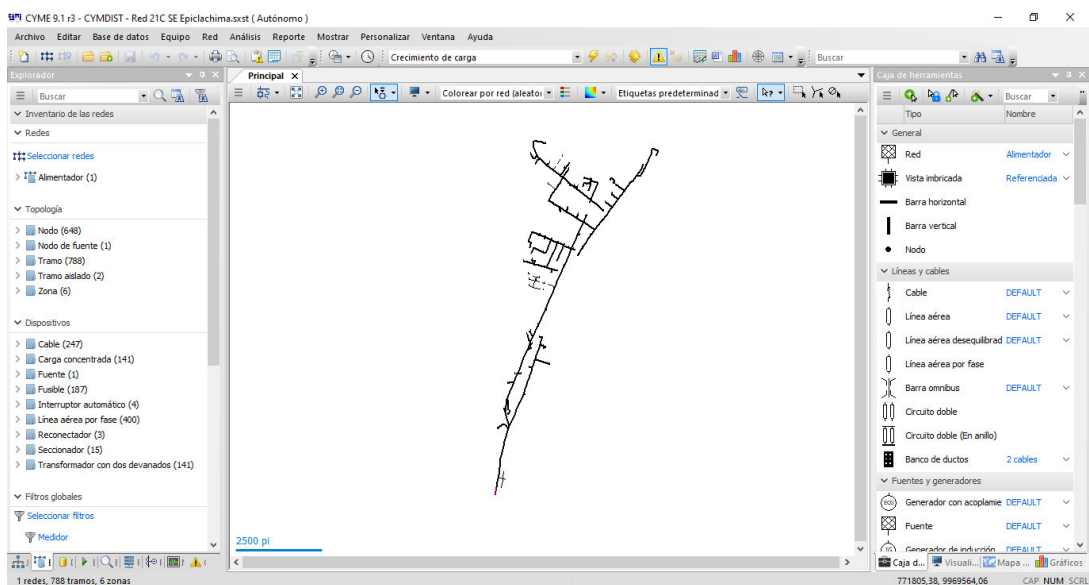


Figura 2.14. Simulación realizada en el software CYMDIST del ramal primario 21C perteneciente a la Subestación Epiclachima (21) de la Empresa Eléctrica Quito.

Para un correcto dimensionamiento de la demanda por parte de los usuarios, se modificaron los valores de consumo en cada una de las cargas concentradas tal como se menciona en el apartado 2.2.5 y la Tabla 2.5, es decir: dos vehículos eléctricos por lote de terreno con un consumo mensual de 324 [kWh] por vehículo; con esta modificación el valor de consumo en cada una de las cargas creció en gran medida. Esto se puede observar en la comparativa de la Figura 2.16 y Figura 2.17 tomando como ejemplo la carga concentrada N°25988 conectada al transformador N°15482. De acuerdo con la información de lotes de

terreno y usuarios según el ArcGIS de la EEQ S.A. y tomando en cuenta los datos de número de usuarios en la simulación de la red 21C del software CYMDIST, se realizó una base de datos en el programa computacional EXCEL, donde nos da una referencia de los lotes de terreno y el número de usuarios totales conectados a cada transformador; con esto se logró una aproximación del consumo total que generarían los vehículos eléctricos al ser acoplados a esta red.

En la Figura 2.15 se observa la base de datos realizada en EXCEL, donde tenemos el número total de usuarios que su consumo fue modificado, el número de lotes existentes y los usuarios totales que se alimentan de este transformador, además del consumo total aproximado con la incorporación de sistemas de recarga domiciliarios para VE.

	A	B	C	D	E
37	36		1401542998	21	2
38	37		1400346523		
39	38		1400372696	22	6
40	39		1400393435		
41	40		1400388798	23	5
42	41		1400401473		
43	42		1401002659	24	5
44	43		1400497805		
45	44		1401195562	25	6
46	45		1400339062		
47	46		1400707397	26	5
48	47		1400335838		
49	48		1401239529	27	3
50	49		1400429513		
51	50		1400987862	28	1
52	51		1401167010	29	3
53	52		1400367156		
54	53		1401488067	30	1
55	Usuarios totales				116
56	kWh totales				17172
57					
58					
59					

15482 43449 15493 15491 51055=15484 15

Figura 2.15. Base de datos con el número de usuarios que su valor de consumo ha sido modificado. Realizado en el programa EXCEL.

	A	B	C	Total	
Potencia real:	7,45	0,0	0,0	7,45	kW
Potencia reactiva:	2,33	0,0	0,0	2,33	kvar
Consumo:	13385,19	0,0	0,0	13385,19	kWh
Capacidad conectada:	50,0	0,0	0,0	50,0	kVA
Clientes:	116,0	0,0	0,0	116,0	

Figura 2.16. Consumo total sin la incorporación de VE de la carga concentrada 25988 conectada al transformador 15482.

	A	B	C	Total	
Potencia real:	7,45	0,0	0,0	7,45	kW
Potencia reactiva:	2,33	0,0	0,0	2,33	kvar
Consumo:	32825,19	0,0	0,0	32825,19	kWh
Capacidad conectada:	50,0	0,0	0,0	50,0	kVA
Clientes:	116,0	0,0	0,0	116,0	

Figura 2.17. Consumo total con la incorporación de VE de la carga concentrada 25988 conectada al transformador 15482.

Como se puede observar en la Figura 2.16 el consumo total para un número de 116 usuarios en total es de 13385 [kWh] sin la incorporación de sistemas de recarga domiciliarios de VE, en cambio en la Figura 2.17 se observa un valor de 32825 [kWh] con la incorporación de sistemas de recarga domiciliarios para VE tomando en cuenta todas las restricciones antes mencionadas. En las dos figuras el valor del consumo ha variado en gran medida, siendo esta de 19490 [kWh] correspondiente a un total de 53 usuarios con vehículos eléctricos en sus estacionamientos.

Por otra parte, el consumo total de la red también aumentó, en la Figura 2.18 y Figura 2.19 se muestra el consumo total teniendo este una diferencia de 558261.92 [kWh].

Datos aguas abajo			
A	B	C	Total
305375,75	283281,29	225879,38	814536,43
Consumo (kWh) ▾			Detalles...

Figura 2.18. Consumo total de la red 21C sin la incorporación de sistemas de recarga domiciliaria para VE.

Datos aguas abajo			
A	B	C	Total
547865,6	490258,04	334674,7	1372798,35
Consumo (kWh) ▾			Detalles...

Figura 2.19. Consumo total de la red 21C con la incorporación de sistemas de recarga domiciliaria para VE.

Bajo estas condiciones de consumo, se hizo uso de la herramienta DISTRIBUCIÓN DE CARGA del software CYMDIST el cual permite ajustar la carga conectada para igualarla a

la medida de la demanda, por lo que CYMDIST le asigna una porción de la medida de la demanda a cada fase de cada sección de acuerdo con el tamaño del transformador de distribución (kVA conectada), los datos de consumo del cliente (kWh), el consumo real (kVA o kW) o el método REA.

Para más información sobre el método de DISTRIBUCIÓN DE CARGA se adjunta en los anexos el documento tutorial proporcionado por CYME.

2.3.3 DISTRIBUCIÓN DE CARGA APLICADA A LA RED DE ESTUDIO

La distribución de carga ejecutada en el software CYMDIST está aplicada a valores diarios de consumo energético sin la incorporación de vehículos eléctricos a la red eléctrica en estudio.

Para el cambio de estos valores en el consumo energético de cada usuario se hizo una base de datos en EXCEL y después se fue cambiando los datos preestablecidos por la EEQ S.A. en la simulación de la red 21C del software CYMDIST. Cabe mencionar que los datos de consumo preestablecidos por la EEQ. S.A. son datos de consumo energético mensual.

El cambio en los valores de consumo energético de las cargas concentradas se lo debe hacer manual y de uno en uno, debido a que los usuarios residenciales están detallados dentro de cada carga concentrada.

Se debe seguir los siguientes pasos:

1. Abrir las propiedades de carga concentrada, dando doble clic en el ícono de carga concentrada de la simulación realizada en CYMDIST, tal como se muestra en la Figura 2.20.

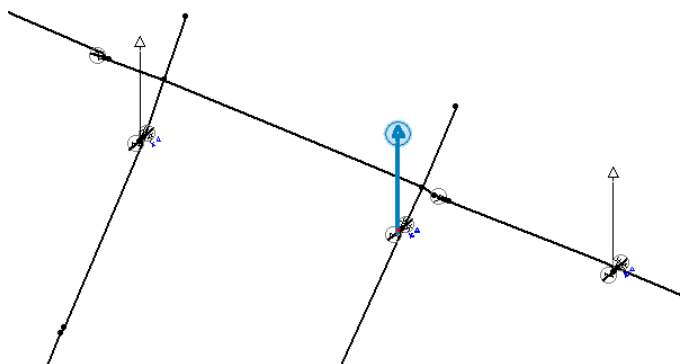


Figura 2.20. “Carga concentrada” en la simulación de la red 21C del software CYMDIST.

- Entrar a “Detalles” para visualizar todos los usuarios conectados a ese transformador de distribución

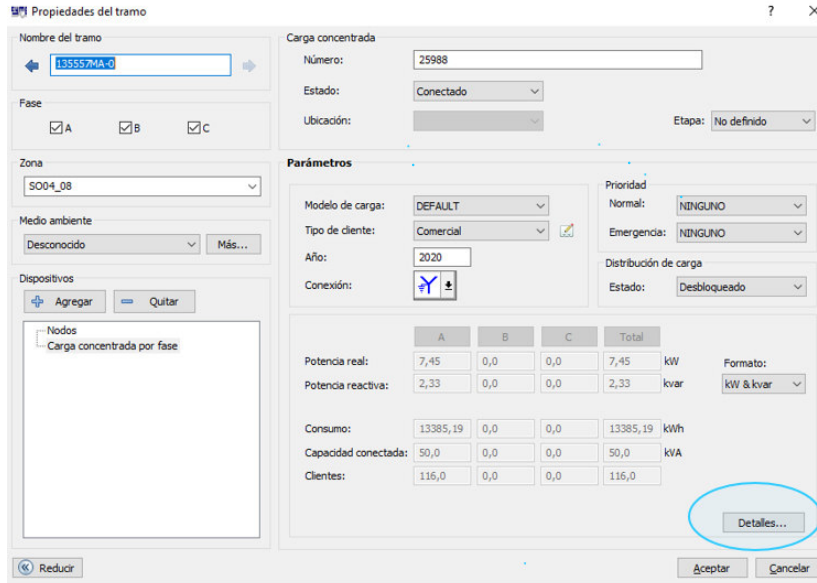


Figura 2.21. Visualización completa del campo “carga concentrada”

- Una vez que se esté visualizando los usuarios y sus consumos, se debe cambiar uno a uno los consumos, para tener los valores deseados en cuanto a consumos en las “cargas concentradas”.

Carga del cliente

Modelo de carga: DEFAULT Formato: kW & kvar

Número del cliente	Tipo de cliente	Bloqueado	Estado	Año	Prioridad normal	Prioridad de emergencia	Fase	kW reales	kvar reales	kVA conn.	kWh	# cliente
140071909	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	38,15	1,0
1401271009	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	39,23	1,0
1400336641	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	146,69	1,0
1401075984	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	65,23	1,0
1400707367	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	123,92	1,0
1401190809	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	102,02	1,0
1400429502	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	108,85	1,0
1400439530	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	124,46	1,0
1400399580	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	80,54	1,0
1401515202	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	122,69	1,0
1401167010	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	135,93	1,0
1400371232	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	446,23	1,0
1400344957	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	139,94	1,0
1401448944	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	107,85	1,0
1400706977	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	96,23	1,0
1400715468	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	182,0	1,0
1400422592	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	273,77	1,0
1400344956	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	114,54	1,0
1400398272	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	162,15	1,0
1401659379	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	61,38	1,0
1401075901	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	92,14	1,0
1400344955	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	84,46	1,0
1400441751	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	55,0	1,0
1401515201	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	104,0	1,0
1400372044	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	145,08	1,0
1401659378	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	96,15	1,0
1400487955	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	51,82	1,0
1400336020	Comercial	Desbloqueado	Conectado	2020	0	0	A	0,06	0,02	0,43	86,15	1,0

Mostrar todas las fases

Figura 2.22. Datos de consumo de cada usuario conectado al transformador de distribución que corresponda.

Realizados los pasos anteriores para cada una de las cargas concentradas y para que los datos ingresados en cada carga concentrada de usuarios residenciales de la red 21C sean coherentes, se tomó como referencia 30 días por mes, es decir que el valor de consumo mensual en cada carga concentrada de usuarios residenciales se la dividió para 30, con eso arrojó el resultado visualizado en la columna F “Consumo diario sin VE” de la Figura 2.23. Se puede visualizar los cambios realizados en la Figura 2.24 y Figura 2.25.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	N°	Transformador	Consumo mensual solo VE	Consumo diario solo VE	Consumo mensual sin VE	Consumo diario sin VE	Consumo 5% diario	Total VE + 5%	Total VE + 100%
3	5	47908	23085,11	769,50	15573,84	519,13	25,96	795,46	1288,63
4	9	70673	1944,01	64,80	1459,96	48,67	2,43	67,23	113,47
5	21	163127	10652,00	355,07	3536,23	117,87	5,89	360,96	472,94
6	22	163395	12188,02	406,27	3774,05	125,80	6,29	412,56	532,07
7	23	163394	11964,01	398,80	3457,73	115,26	5,76	404,56	514,06
8	24	163396	12315,25	410,51	5387,64	179,59	8,98	419,49	590,10
9	25	163126	10791,99	359,73	3367,91	112,26	5,61	365,35	472,00
10	26	163393	11663,44	388,78	3793,96	126,47	6,32	395,10	515,25
11	27	163125	11375,84	379,19	3432,98	114,43	5,72	384,92	493,63
12	59	40416	3564,00	118,80	6394,49	213,15	10,66	129,46	331,95
13	65	34497	8148,00	271,60	23086,07	769,54	38,48	310,08	1041,14
14	68	14716	1296,02	43,20	5203,18	173,44	8,67	51,87	216,64
15	69	15481	14605,97	486,87	19002,86	633,43	31,67	518,54	1120,29
16	70	15482	19440,00	648,00	13385,19	446,17	22,31	670,31	1094,17
17	71	15493	10044,03	334,80	7741,59	258,05	12,90	347,70	592,85
18	72	43449	22680,00	756,00	11220,6	374,02	18,70	774,70	1130,02
19	73	15491	11316,00	377,20	6811,53	227,05	11,35	388,55	604,25
20	74	51055	23463,64	782,12	9361,55	312,05	15,60	797,72	1094,17
21	75	15486	20411,98	680,40	11130,1	371,00	18,55	698,95	1051,40
22	76	15487	21394,00	713,13	14930,43	497,68	24,88	738,02	1210,81
23	77	15485	20827,00	694,23	8766,87	292,22	14,61	685,41	895,82

Figura 2.23. Base de datos realizada en EXCEL con los valores de consumo diarios sin la incorporación de VE a la red 21C.

Consumo:	13385,19	0,0	0,0	13385,19 kWh
Capacidad conectada:	50,0	0,0	0,0	50,0 kVA
Clientes:	116,0	0,0	0,0	116,0

Figura 2.24. Datos de consumo preestablecidos por la EEQ S.A. en el transformador N°15482 y la carga concentrada N°25988 (Consumo mensual).

Consumo:	446,17	0,0	0,0	446,17 kWh
Capacidad conectada:	50,0	0,0	0,0	50,0 kVA
Clientes:	116,0	0,0	0,0	116,0

Figura 2.25. Datos de consumo diario referidos a la base de datos creada en EXCEL.

Se tomaron en cuenta varios casos de estudio: el primero donde la demanda diaria es el total de consumo, es decir, donde los usuarios tienen conectados todos sus aparatos eléctricos incluyendo los sistemas de recarga domiciliarios para VE y, el segundo caso donde se hace uso de los sistemas de recarga domiciliarios en horas de la noche más un

5% del consumo diario total de cada usuario, este 5% es por los aparatos eléctricos que están conectados y funcionando (refrigeradora, alarmas, etc.).

Antes de realizar los dos casos de estudio mencionados, fue bueno realizar un estudio donde se haga una “Distribución de carga” a la red 21C sin la integración de sistemas de recarga domiciliario para VE para saber si hay transformadores sobrecargados.

2.3.4 DEMANDA DIARIA (CASO DE ESTUDIO 1)

El primer caso de estudio analiza la demanda diaria de la red de estudio 21C sin la incorporación de los sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos.

Para determinar los valores que se deberían modificar para los usuarios en las “cargas concentradas” del software CYMDIST, se recurrió a la base de datos creada en EXCEL Figura 2.23, en la que se puede observar cada uno de los valores predeterminados que se debería tener.

Para corroborar esta información se adjunta los valores modificados en las primeras “cargas concentradas” referentes a los transformadores N°47908 y N°70673.

Consumo:	519,13	0,0	0,0	519,13	kWh
Capacidad conectada:	125,0	0,0	0,0	125,0	kVA
Clientes:	109,0	0,0	0,0	109,0	

Figura 2.26. Consumo de la carga referida al transformador N°47908.

Consumo:	0,0	0,0	48,67	48,67	kWh
Capacidad conectada:	0,0	0,0	25,0	25,0	kVA
Clientes:	0,0	0,0	9,0	9,0	

Figura 2.27. Consumo de la carga referida al transformador N°70673.

En este caso, se puede observar que 41 transformadores de distribución se encuentran sobrecargados, las cargas concentradas en este caso están sobrecargadas y también tienen subvoltajes, al igual que varios nodos.

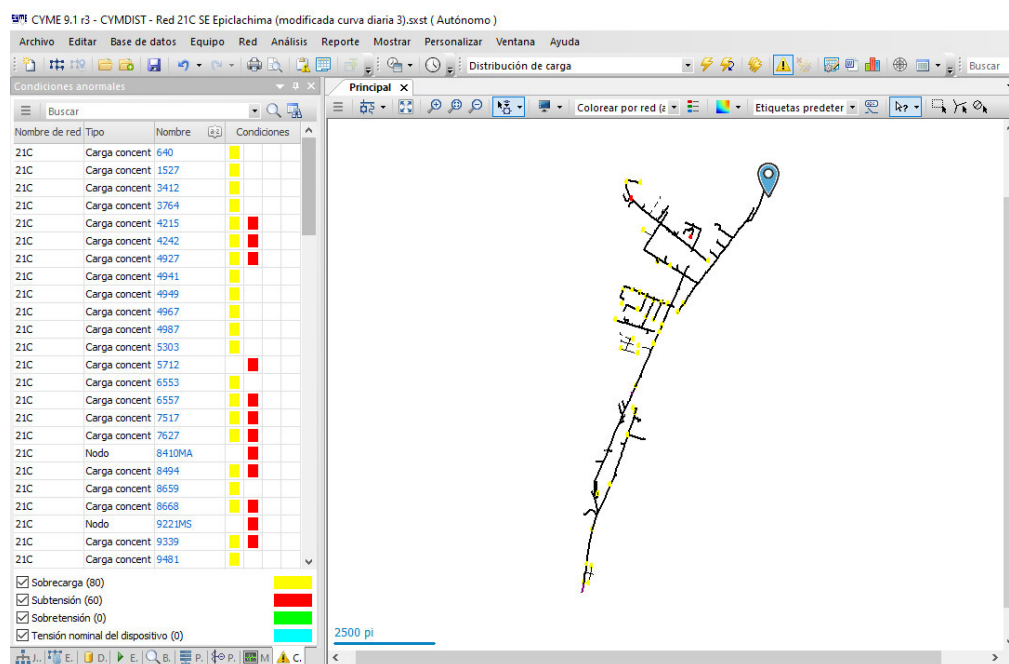


Figura 2.28. Estudio de “Distribución de carga” realizada para cargas sin la incorporación de vehículos eléctricos.

Para más detalles se presenta el estudio completo en los anexos de este trabajo.

2.3.5 DEMANDA DIARIA (CASO DE ESTUDIO 2)

El segundo caso de estudio analiza la demanda diaria de la red de estudio 21C con la incorporación de los sistemas de recarga domiciliar para vehículos eléctricos bajo la condición de que los usuarios hacen uso del 100% de su consumo energético diario.

Para este caso también se creó una base de datos donde se calcula el consumo diario total para cada transformador con la inclusión de vehículos eléctricos. En la Figura 2.29 se puede observar en la columna I de color verde estos datos y en la Figura 2.30 como fueron modificados en la simulación de la red 21C realizada en CYMDIST.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	N°	Transformador	Consumo mensual solo VE	Consumo diario solo VE	Consumo mensual sin VE	Consumo diario sin VE	Consumo 5% diario	Total VE + 5%	Total VE + 100%
2									
3	5	47908	23085,11	769,50	15573,84	519,13	25,96	795,46	1288,63
4	9	70673	1944,01	64,80	1459,96	48,67	2,43	67,23	113,47
5	21	163127	10652,00	355,07	3536,23	117,87	5,89	360,96	472,94
6	22	163395	12188,02	406,27	3774,05	125,80	6,29	412,56	532,07
7	23	163394	11964,01	398,80	3457,73	115,26	5,76	404,56	514,06
8	24	163396	12315,25	410,51	5387,64	179,59	8,98	419,49	590,10
9	25	163126	10791,99	359,73	3367,91	112,26	5,61	365,35	472,00
10	26	163393	11663,44	388,78	3793,96	126,47	6,32	395,10	515,25
11	27	163125	11375,84	379,19	3432,98	114,43	5,72	384,92	493,63
12	59	40416	3564,00	118,80	6394,49	213,15	10,66	129,46	331,95
13	65	34497	8148,00	271,60	23086,07	769,54	38,48	310,08	1041,14
14	68	14716	1296,02	43,20	5203,18	173,44	8,67	51,87	216,64
15	69	15481	14605,97	486,87	19002,86	633,43	31,67	518,54	1120,29
16	70	15482	19440,00	648,00	13385,19	446,17	22,31	670,31	1094,17
17	71	15493	10044,03	334,80	7741,59	258,05	12,90	347,70	592,85
18	72	43449	22680,00	756,00	11220,6	374,02	18,70	774,70	1130,02
19	73	15491	11316,00	377,20	6811,53	227,05	11,35	388,55	604,25
20	74	51055	23463,64	782,12	9361,55	312,05	15,60	797,72	1094,17
21	75	15486	20411,98	680,40	11130,1	371,00	18,55	698,95	1051,40
22	76	15487	21394,00	713,13	14930,43	497,68	24,88	738,02	1210,81
23	77	15485	20097,00	669,60	8796,87	276,33	13,81	686,81	896,83

Figura 2.29. Datos de consumo diario total con la inclusión de vehículos eléctricos a la red 21C.

Consumo:	1288,63	0,0	0,0	1288,63 kWh
Capacidad conectada:	125,0	0,0	0,0	125,0 kVA
Clientes:	109,0	0,0	0,0	109,0

Figura 2.30. Datos de consumo en el transformador N°47908 con la incorporación sistemas de recarga domiciliar para VE y el 100% de consumo por cada usuario.

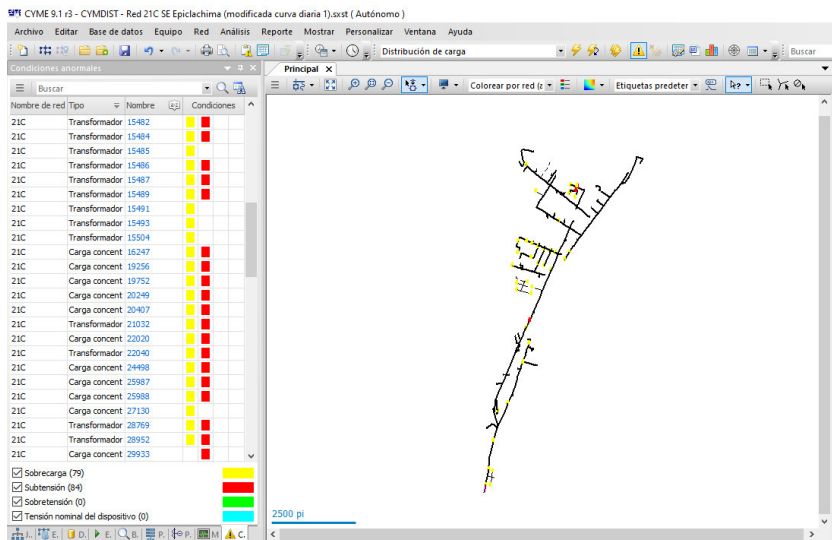


Figura 2.31. Caso de estudio primero, realizado en la red 21C utilizando el método “distribución de carga”.

Como se puede observar en este caso de estudio en particular, 41 transformadores se encuentran sobrecargados, de estos 37 son transformadores que su consumo fue modificado, también se obtuvo sobrecarga en varias cargas concentradas, además de subvoltajes en nodos, cargas concentradas y transformadores.

Para mayor detalle del estudio se realizó un flujo de potencia donde se muestra todos los resultados obtenidos de sobrecargas y subvoltajes en transformadores, líneas y cargas. Estos resultados se los muestra en su totalidad en los anexos de este trabajo.

2.3.6 DEMANDA DIARIA (CASO DE ESTUDIO 3)

El tercer caso de estudio analiza la demanda diaria de la red de estudio 21C con la incorporación de los sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos bajo la condición de que los usuarios hacen uso de estos sistemas en horario nocturno.

La red de distribución 21C está compuesta en su gran mayoría de industrias, por lo que solo 39 de 141 transformadores alimentan usuarios residenciales. Por este motivo se observa que en la curva de demanda de la Figura 2.8 y Figura 2.9, la potencia consumida no disminuye de 7000 [kWh]. Debido a esta condición de la red, no se modificó el consumo de potencia de los transformadores industriales y solo se modificó el consumo de potencia de los transformadores residenciales.

Para este caso de estudio también se hizo uso de la base de datos donde se calcula el consumo diario total para cada transformador con la inclusión de vehículos eléctricos con la condición de que la carga por parte de los usuarios sería el 5% de la carga diaria total. En la Figura 2.32 se puede observar en la columna H de color rojo estos datos y en la Figura 2.33 como fueron modificados en la simulación de la red 21C realizada en CYMDIST.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	N°	Transformador	Consumo mensual solo VE	Consumo diario solo VE	Consumo mensual sin VE	Consumo diario sin VE	Consumo 5% diario	Total VE + 5%	Total VE + 100%
1									
2									
3	5	47908	23085,11	769,50	15573,84	519,13	25,96	795,46	1288,63
4	9	70673	1944,01	64,80	1459,96	48,67	2,43	67,23	113,47
5	21	163127	10652,00	355,07	3536,23	117,87	5,89	360,96	472,94
6	22	163395	12188,02	406,27	3774,05	125,80	6,29	412,56	532,07
7	23	163394	11964,01	398,80	3457,73	115,26	5,76	404,56	514,06
8	24	163396	12315,25	410,51	5387,64	179,59	8,98	419,49	590,10
9	25	163126	10791,99	359,73	3367,91	112,26	5,61	365,35	472,00
10	26	163393	11663,44	388,78	3793,96	126,47	6,32	395,10	515,25
11	27	163125	11375,84	379,19	3432,98	114,43	5,72	384,92	493,63
12	59	40416	3564,00	118,80	6394,49	213,15	10,66	129,46	331,95
13	65	34497	8148,00	271,60	23086,07	769,54	38,48	310,08	1041,14
14	68	14716	1296,02	43,20	5203,18	173,44	8,67	51,87	216,64
15	69	15481	14605,97	486,87	19002,86	633,43	31,67	518,54	1120,29
16	70	15482	19440,00	648,00	13385,19	446,17	22,31	670,31	1094,17
17	71	15493	10044,03	334,80	7741,59	258,05	12,90	347,70	592,85
18	72	43449	22680,00	756,00	11220,6	374,02	18,70	774,70	1130,02
19	73	15491	11316,00	377,20	6811,53	227,05	11,35	388,55	604,25
20	74	51055	23463,64	782,12	9361,55	312,05	15,60	797,72	1094,17
21	75	15486	20411,98	680,40	11130,1	371,00	18,55	698,95	1051,40
22	76	15487	21394,00	713,13	14930,43	497,68	24,88	738,02	1210,81
23	77	15485	20007,00	666,90	8705,03	276,72	13,51	605,01	905,00

Figura 2.32. Datos de consumo diario total con la inclusión de vehículos eléctricos a la red 21C.

Consumo:	795,46	0,0	0,0	795,46	kWh
Capacidad conectada:	125,0	0,0	0,0	125,0	kVA
Clientes:	109,0	0,0	0,0	109,0	

Figura 2.33. Datos de consumo en el transformador N°47908 con vehículos eléctricos y el 100% de consumo por cada usuario.

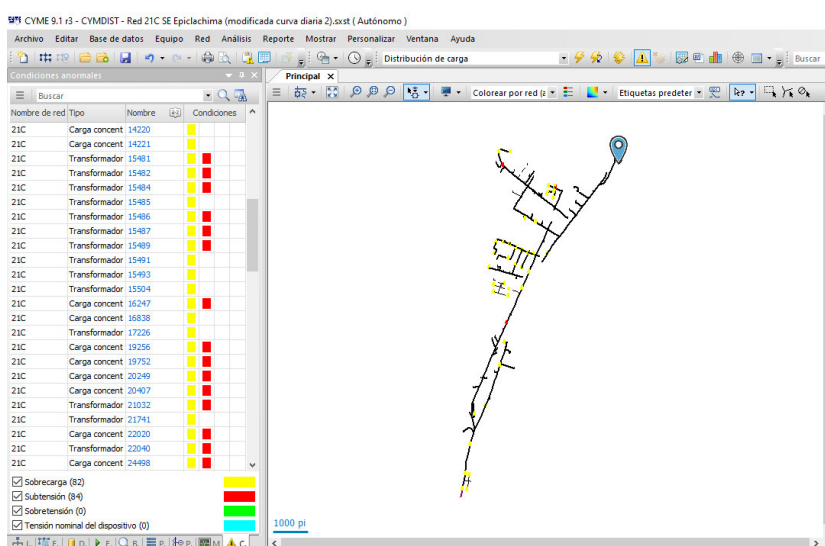


Figura 2.34. Segundo caso de estudio realizado en la red 21C utilizando el método de “Distribución de carga”.

Se observa en este caso de estudio en particular que, 41 transformadores se encuentran sobrecargados, de estos, 37 son transformadores que su consumo fue modificado, también se obtuvo sobrecarga en varias cargas concentradas, además de subtensiones en nodos, cargas concentradas y transformadores.

A pesar de que el consumo sin sistemas de recarga domiciliaria para VE fue modificado al 5% los transformadores y algunos puntos de la red se encuentran sobrecargados y con subvoltajes en sus puntos.

2.3.7 ANÁLISIS DE FRECUENCIAS ARMÓNICAS

El objetivo de este análisis es ver los efectos de las corrientes armónicas y los efectos que estas tienen en la red.

Para este análisis se ha utilizado la herramienta “Análisis armónico” del software CYMDIST, el cual permite modelar los niveles de armónicos que el usuario pretende ingresar a la red según el estudio preestablecido que se haya realizado.

Para este análisis se tomó en cuenta [26] el cual analiza la carga de un vehículo muy conocido, además de hacer un análisis de corrientes armónicas para un vehículo muy conocido en el medio automotriz eléctrico (Nissan Leaf).

A continuación, en la Tabla 2.8 se muestra el espectro armónico para la carga y descarga del vehículo eléctrico Nissan Leaf a un voltaje de 120 [V].

Tabla 2.8. Espectro armónico en la carga y descarga del VE Nissan Leaf.

	Frecuencia [HZ]	60	180	300	420	540	660	780	900
Carga	Magnitud [A]	11.72	0.931	0.093	0.115	0.131	0.130	0.131	0.127
Descarga	Magnitud [A]	10.28	0.817	0.0816	0.101	0.115	0.114	0.0115	0.111

Como se puede observar en la Tabla 2.8 en la parte de carga, la magnitud de la corriente a la frecuencia nominal es 11.72 [A], lo que va variando con respecto a las demás frecuencias, es decir a los demás armónicos.

Para poner estas referencias en el software CYMDIST se procedió a transformar estas magnitudes de corriente en carga a niveles de porcentaje. Se hace las siguientes conversiones, debido a que la herramienta fuente de frecuencias requiere obligatoriamente el valor en porcentaje de la magnitud de la corriente de frecuencia fundamental:

$$11.72 \rightarrow 100\%$$

$$0.931 \rightarrow 7.94\%$$

$$0.093 \rightarrow 0.79\%$$

$$0.115 \rightarrow 0.98\%$$

$$0.131 \rightarrow 1.12\%$$

Para generar estos niveles en una fuente de armónicos, se hizo el siguiente procedimiento:

Ir a la opción “equipo” de la barra de herramientas

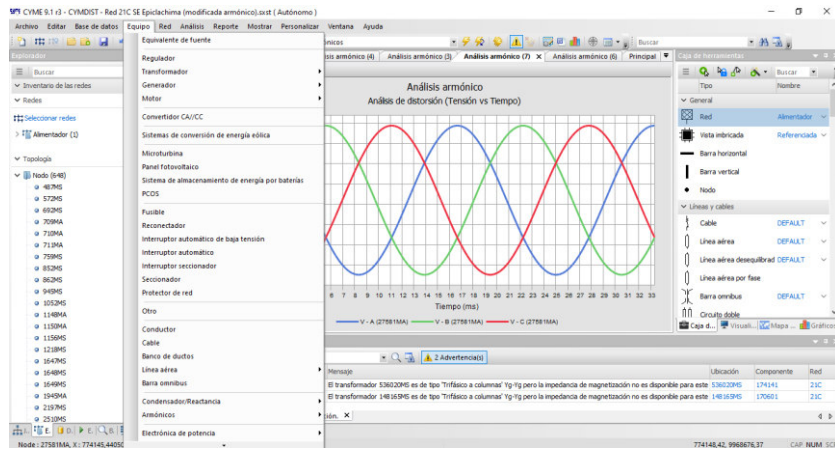


Figura 2.35. Barra de herramientas y equipos para escoger la opción armónicos.

Escoger la opción “armónicos” y después “fuente de frecuencias”

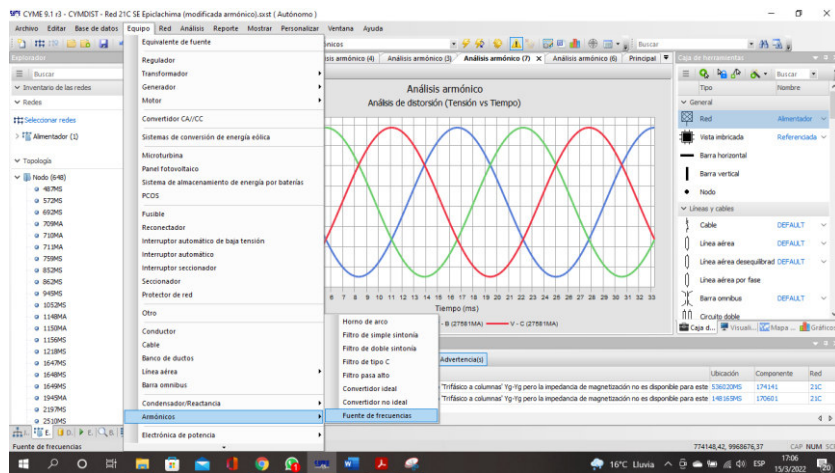


Figura 2.36. Opción fuente de frecuencias.

En la ventana fuente de frecuencias se puede ir cambiando los niveles de armónicos según lo preestablecido y lo calculado, o si bien se tiene una fuente externa de armónicos, se la puede importar a la biblioteca de CYMDIST para hacer uso de ella.

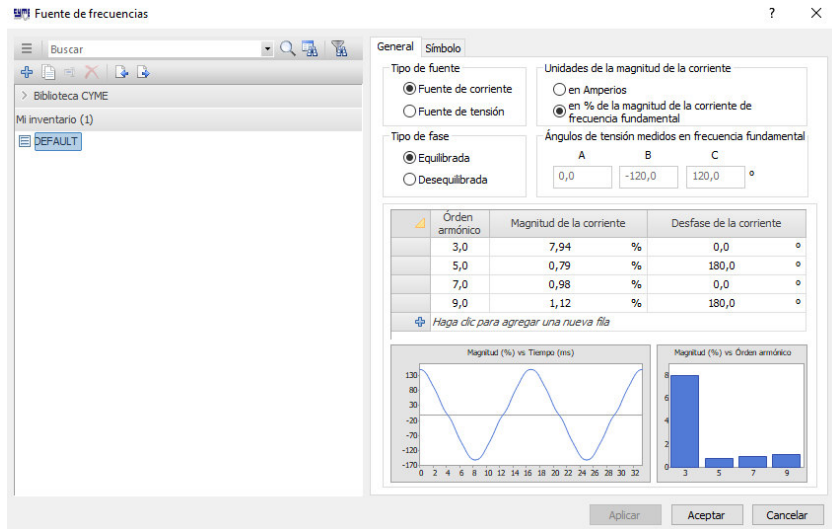


Figura 2.37. Contenido “fuente de frecuencias” para poner opciones de armónicos.

Una vez realizado el cambio se debe aplicar estos datos y aceptar para que todo quede guardado en la base de datos de CYMDIST

Para correr la simulación de a fuente de armónicos se debe ir a la ventana Armónicos del cuadro de diálogo y escogemos las opciones que nos conviene.

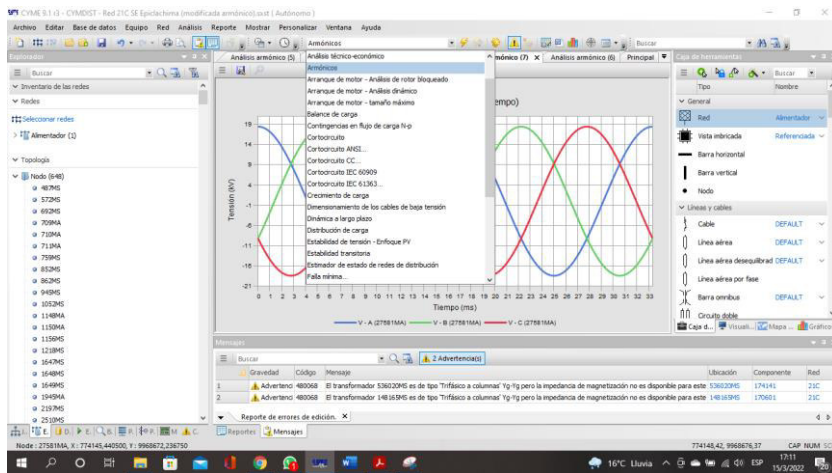


Figura 2.38. Simulación de armónicos en el cuadro de diálogo.

Una vez dado clic en la opción de simulación aparece varios parámetros previos a la ejecución de la simulación, de los cuales se escogió el nodo en el cual se quiere hacer el estudio y el transformador al que se le va a inyectar estas frecuencias armónicas.

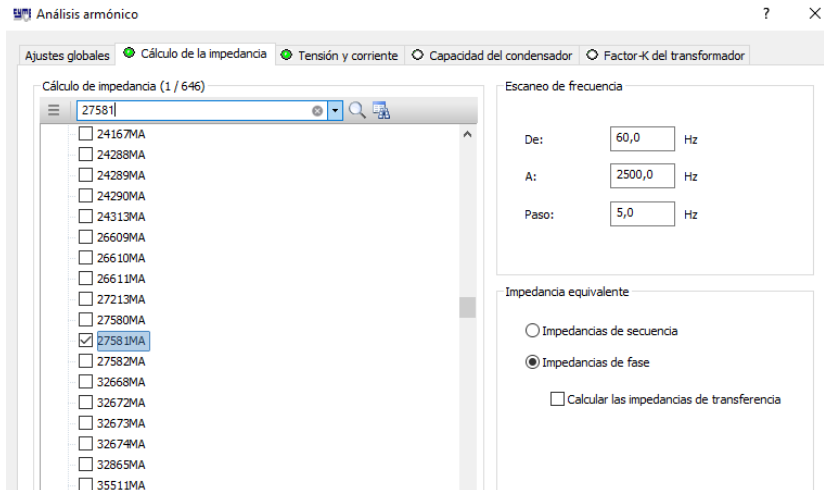


Figura 2.39. Límites de frecuencia para análisis de corrientes armónicas.

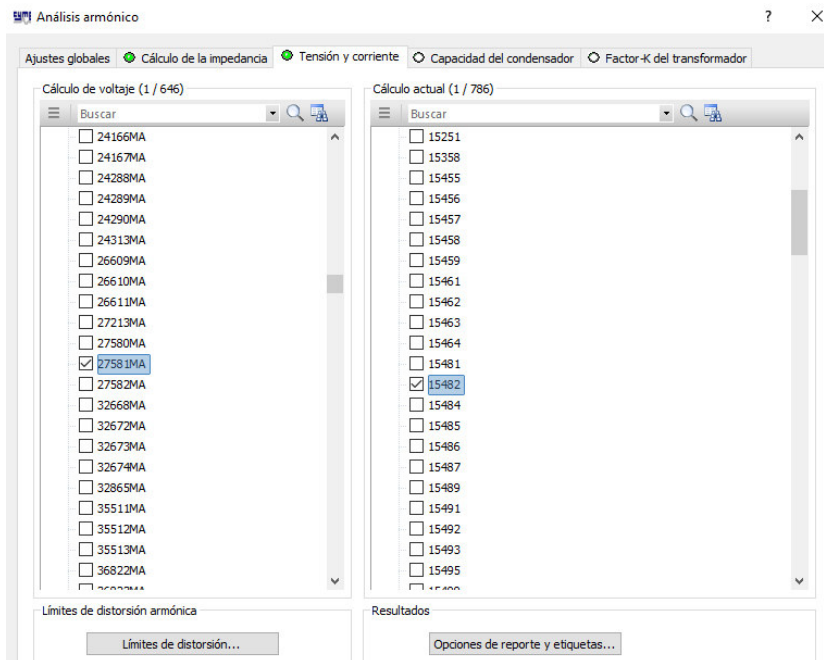


Figura 2.40. Opciones de equipos para hacer análisis de corrientes armónicas.

Una vez escogido estos parámetros, se procede a poner los límites de la distorsión, ya que esto significa bajo qué norma vamos a limitar estas frecuencias

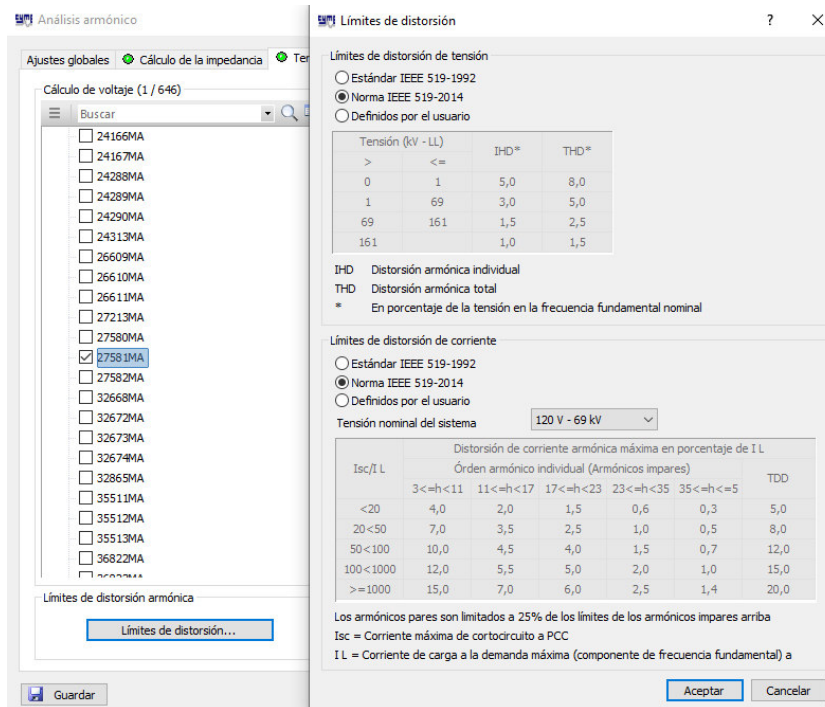


Figura 2.41. Límites para distorsiones armónicas.

Se escoge la Norma IEEE 519-2014, porque es la norma que se encuentra vigente ante los límites de corrientes armónicas

Una vez realizadas todas estas modificaciones resta ejecutar la simulación y ver los resultados que esta herramienta arroja.

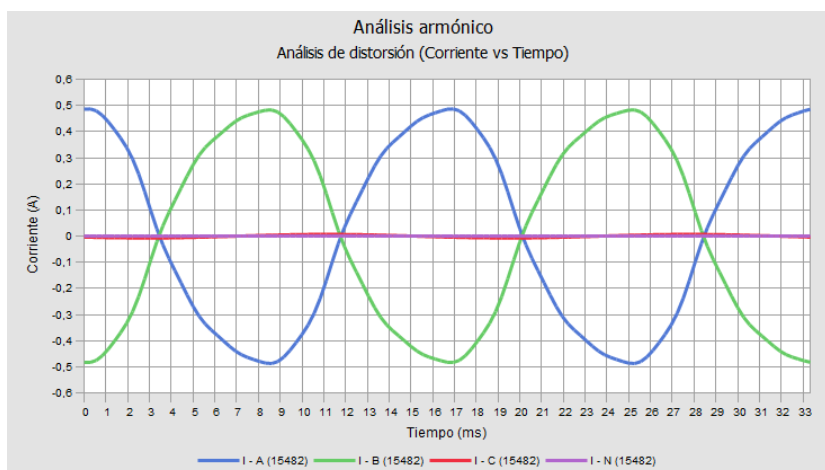


Figura 2.42. Análisis de corrientes armónicas vs tiempo en el transformador N°15482.

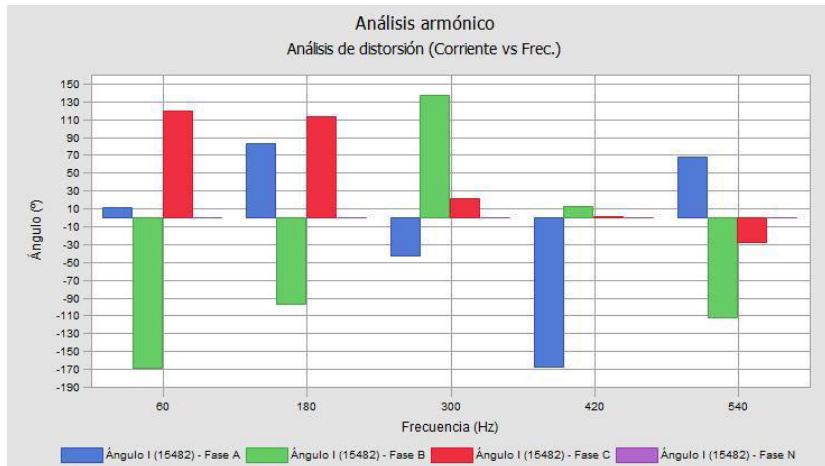


Figura 2.43. Análisis de corrientes armónicas vs frecuencia en el transformador N°15482

El estudio de corrientes armónicas se las realizó para el transformador N°15482 y para el nodo N°27581MA. Como se puede observar en la Figura 2.42 la distorsión en la onda de corriente causada por los armónicos hace que estas se vean distorsionadas. La distorsión se encuentra presente en las dos fases de servicio.

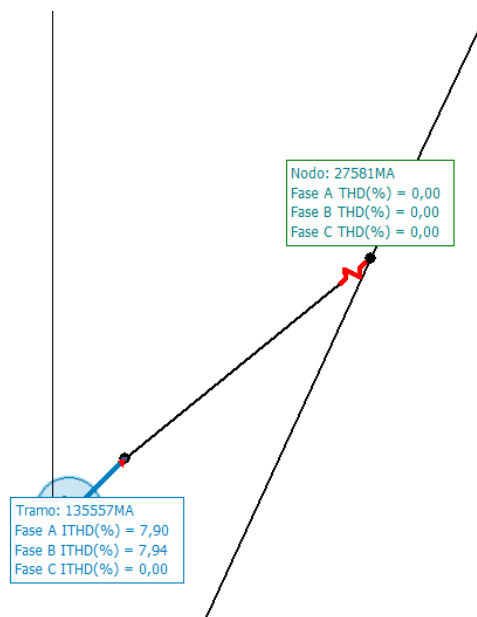


Figura 2.44. Porcentaje de THD de corriente presente en el transformador N°15482

El porcentaje de THD de corriente se encuentra en un rango menor a 8%, lo cual es aceptable según los límites establecidos en [27] y la norma IEEE STD 519-2014, donde establece un límite para armónicos de corriente del 12%.

Para mejor comprensión de este análisis, se adjunta el estudio completo en los anexos de este trabajo.

2.3.8 ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE CARGA SEGÚN ESTIMACIONES

Al igual que los estudios realizados para la inclusión de sistemas de recarga domiciliarios para vehículos eléctricos, se hace una estimación del crecimiento de la carga. Teniendo en cuenta los estudios previamente realizados, se utilizó la Ecuación (2.1) de la tasa de crecimiento de la demanda.

$$r = \frac{\frac{D_n}{D_0} - 1}{n} \quad (2.1)$$

Donde:

r = Tasa de crecimiento de la demanda

D_n = Demanda para el periodo de proyección (Cargas de diseño)

D_0 = Demanda actual

n = Periodos de proyección (8 años para transformadores de distribución y 15 años para redes de distribución)

$$D_n = 32825.19$$

$$D_0 = 13385.19$$

$$n = 8$$

$$r = \frac{\frac{32825.19}{13385.19} - 1}{8} = 0.1815$$

Aplicando la fórmula de crecimiento de la demanda se tiene un valor de:

$$r = 18.15\%$$

Haciendo uso de la herramienta “Crecimiento de carga” se ha proyectado como va a ser el funcionamiento de la red, teniendo ya los valores preestablecidos. Cabe mencionar que para el uso de esta herramienta no se hace uso de la herramienta “Distribución de carga”, por lo que para la visualización de los resultados se hace énfasis en la utilización de “Flujos de carga”.

Para este estudio se tomó como ejemplo la red 21C con consumo diario por parte de los usuarios, ya que este estudio debería comenzar desde cero.

En la Figura 2.45 se puede observar el resultado del flujo de carga en los transformadores de la red 21C. Estos resultados son modelados sin hacer uso de la herramienta “Crecimiento de carga”.

K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
Potencia total de paso (kVA)	Fp promedio (%)	IEquil (A)	Desfase I (°)	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kvar)	Reducción de tensión (%)	Sobretensión (%)	Vset (%)	Id. tramo reg.	Carga (%)
7	95,46	0,2	-17,37	0,2	0,1	0,00	0,00	0,00		16,1
2	95,42	0,2	-17,53	0,1	0,0	0,00	0,00	0,00		16,0
8	95,43	0,2	-17,55	0,2	0,1	0,00	0,00	0,00		16,1
7	95,46	0,2	-17,50	0,2	0,1	0,00	0,00	0,00		16,1
12	94,47	0,3	-17,61	0,3	0,1	0,00	0,00	0,00		22,5
81	95,28	2,1	-17,83	1,2	0,7	0,00	0,00	0,00		16,1
162	95,22	4,1	-17,95	2,0	1,7	0,00	0,00	0,00		16,1
33	95,33	0,8	-17,75	0,7	0,3	0,00	0,00	0,00		16,1
15	95,40	0,4	-17,62	0,3	0,1	0,00	0,00	0,00		16,1
61	95,29	1,6	-17,84	1,0	0,5	0,00	0,00	0,00		16,1
61	95,29	1,6	-17,84	1,0	0,5	0,00	0,00	0,00		16,1
65	95,29	1,7	-17,83	1,1	0,6	0,00	0,00	0,00		16,1
33	95,33	0,8	-17,77	0,7	0,3	0,00	0,00	0,00		16,1
65	95,29	1,7	-17,83	1,1	0,6	0,00	0,00	0,00		16,1
37	95,32	0,9	-17,79	0,7	0,3	0,00	0,00	0,00		16,1
8	95,43	0,2	-17,59	0,2	0,1	0,00	0,00	0,00		16,1
52	95,28	1,3	-17,86	0,8	0,5	0,00	0,00	0,00		16,1
81	95,28	2,1	-17,87	1,2	0,7	0,00	0,00	0,00		16,1
49	88,52	1,2	-18,05	0,8	0,7	0,00	0,00	0,00		24,2
2	95,48	0,2	-17,50	0,1	0,0	0,00	0,00	0,00		15,6
5	95,47	0,1	-17,50	0,1	0,0	0,00	0,00	0,00		16,1

Figura 2.45. Resultados del flujo de carga en transformadores sin hacer uso de la herramienta “Crecimiento de carga”.

En la Figura 2.46 se puede observar el resultado del flujo de carga en los transformadores de la red 21C. Estos resultados son modelados haciendo uso de la herramienta “Crecimiento de carga”, es por este motivo que la carga en los transformadores se ve afectada. Este crecimiento se ve aumentado, pero no es en gran medida.

K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
Potencia total de paso (kVA)	Fp promedio (%)	IEquil (A)	Desfase I (°)	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kvar)	Reducción de tensión (%)	Sobretensión (%)	Vset (%)	Id. tramo reg.	Carga (%)
9	95,39	0,2	-17,51	0,2	0,1	0,00	0,00	0,00		19,1
3	95,35	0,2	-17,68	0,1	0,0	0,00	0,00	0,00		18,9
10	95,36	0,2	-17,70	0,2	0,1	0,00	0,00	0,00		19,1
9	95,39	0,2	-17,66	0,2	0,1	0,00	0,00	0,00		19,1
14	94,40	0,4	-17,76	0,3	0,1	0,00	0,00	0,00		26,6
96	95,21	2,4	-17,98	1,3	1,0	0,00	0,00	0,00		19,1
191	95,15	4,9	-18,11	2,1	2,3	0,00	0,00	0,00		19,1
38	95,26	1,0	-17,91	0,7	0,4	0,00	0,00	0,00		19,1
17	95,34	0,4	-17,77	0,3	0,1	0,00	0,00	0,00		19,1
72	95,23	1,8	-17,99	1,0	0,8	0,00	0,00	0,00		19,1
72	95,23	1,8	-17,99	1,0	0,8	0,00	0,00	0,00		19,1
77	95,23	2,0	-17,99	1,1	0,8	0,00	0,00	0,00		19,1
38	95,26	1,0	-17,93	0,7	0,4	0,00	0,00	0,00		19,1
77	95,23	2,0	-17,99	1,1	0,8	0,00	0,00	0,00		19,1
43	95,25	1,1	-17,95	0,7	0,5	0,00	0,00	0,00		19,1
10	95,36	0,2	-17,75	0,2	0,1	0,00	0,00	0,00		19,1
61	95,22	1,6	-18,02	0,8	0,7	0,00	0,00	0,00		19,1
96	95,21	2,4	-18,03	1,3	1,0	0,00	0,00	0,00		19,1
57	88,41	1,5	-18,25	0,9	0,9	0,00	0,00	0,00		26,6
3	95,41	0,2	-17,67	0,1	0,0	0,00	0,00	0,00		18,5
6	95,40	0,1	-17,67	0,2	0,0	0,00	0,00	0,00		19,1

Figura 2.46. Resultados del flujo de carga en transformadores haciendo uso de la herramienta “Crecimiento de carga”.

La herramienta “Crecimiento de carga” sirve para hacer una determinación de los valores según el porcentaje que el usuario va ingresando, es por eso por lo que se debe hacer una proyección anual de crecimiento de carga.

2.4 METODOLOGÍA PARA EL CASO DE ESTUDIO

Pasos seguidos para la obtención de reportes en el análisis Distribución de Carga del software CYMDIST:

1. Crear una base de datos con los consumos mensuales de los usuarios residenciales de la red.
2. Cambiar los consumos mensuales a consumos diarios para todos los usuarios de la red, incluyendo residenciales y comerciales (consumos mensuales dividido para 30).
3. Crear un caso de estudio en CYMDIST para incluir consumos diarios sin sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos.
4. Crear un nuevo caso de estudio en CYMDIST con consumos diarios y la inclusión de sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos y su estudio en máxima demanda.
5. Crear otro nuevo caso de estudio en CYMDIST con consumos diarios y la inclusión de sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos y su estudio de recarga de baterías en horario nocturno.
6. Modificar el consumo de los usuarios en cada una de las cargas concentradas de la red 21C modelada en el software CYMDIST.
7. Ejecutar el análisis **Distribución de Carga** con el método de distribución **Consumo (kWh)**.
8. Ejecutar el análisis **Flujo de Carga** con los reportes de salidas más adecuados para el estudio (Transformadores, cables, barras, etc.).
9. Pasar al software EXCEL todos los reportes obtenidos del flujo de carga ejecutado en el software CYMDIST.

Pasos seguidos para la obtención de reportes en el análisis Armónicos del software CYMDIST:

1. Crear un caso de estudio en CYMDIST con consumo diario y la inclusión de sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos y el análisis de armónicos.
2. Crear una **Fuente de Frecuencias** con el orden de armónico, la magnitud de corriente en porcentaje con respecto a la fundamental y el desfase de cada uno.
3. En las cargas concentradas donde se requiera hacer el análisis de armónicos se debe habilitar la **Fuente de Corriente Armónica** y el **ID de la Fuente de Frecuencias**.

4. Ejecutar el análisis **Armónicos** e ir variando los parámetros **Cálculo de la Impedancia** (escoger equipos para el análisis), **Tensión y Corriente** (equipos y límite de distorsión según normas).
5. Sacar a visualización los parámetros requeridos en el análisis realizado y guardar las gráficas obtenidas.
6. Ejecutar un flujo de potencia para obtener los reportes del análisis realizado y pasarlos al software EXCEL.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La red estudiada en este trabajo de titulación es alimentada por la Subestación Epiclachima (21) ubicada al sur de Quito, específicamente en el barrio San Bartolo. Este ramal de red trifásica tiene el nombre de 21C y su voltaje de trabajo es de 22.8 [kV]. Esta red alimenta el eje longitudinal de la avenida Pedro Vicente Maldonado desde la SE Epiclachima hasta la calle transversal Guayanay Ñan, alimentando ejes transversales como las calles, Quimiag Cusubamba, Las Lajas, Río Zabaleta, Borbón y toda la calle Manglar Alto, este recorrido se puede ver en la Figura 3.1.

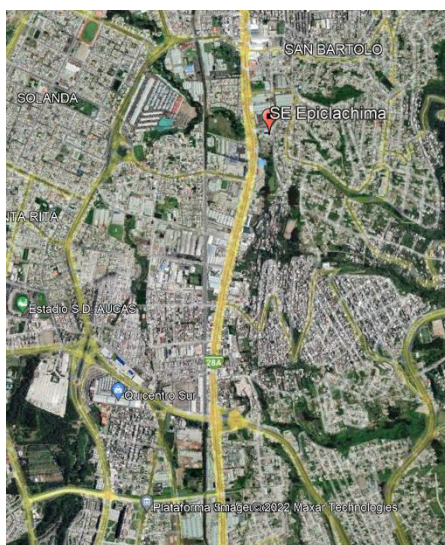


Figura 3.1. Imagen satelital del recorrido de la red 21C.

Existen 141 transformadores de distribución que están conectados a este ramal, de estos 39 transformadores alimentan cargas residenciales, mientras que los restantes 102 alimentan cargas industriales. En el caso de los 39 transformadores residenciales, se tiene un total de 2721 usuarios.

En la Tabla 3.1 se puede visualizar el número de usuarios por transformador y la potencia de cada transformador.

Tabla 3.1. Transformadores residenciales con número de usuarios y potencias referidas.

Transformadores residenciales			
N°	N° de transformador	N° de usuarios	kVA Transformador
1	15482	116	50
2	43449	89	75
3	15493	70	50
4	15491	49	50
5	15484	84	50

Transformadores residenciales			
N°	N° de transformador	N° de usuarios	kVA Transformador
6	15485	99	75
7	15486	105	50
8	15487	120	50
9	21032	91	45
10	15489	64	50
11	31073	31	50
12	15481	111	50
13	14716	13	75
14	115153	116	50
15	12975	9	37,5
16	33834	66	50
17	32968	174	50
18	47365	69	37,5
19	28769	106	37,5
20	32726	111	150
21	43291	63	50
22	163841	45	15
23	164015	79	37,5
24	50925	68	37,5
25	22040	72	25
26	60586	90	75
27	37981	77	37,5
28	115249	112	75
29	34497	109	75
30	40416	12	37,5
31	70673	9	25
32	47908	109	125
33	163396	47	50
34	163125	34	50
35	163393	36	50
36	163126	33	50
37	163127	33	50

El estrato definido por la EEQ S.A. que se maneja para esta zona residencial es estrato D y el estrato C. En la Figura 3.2 tomada de Google maps se observa el tipo de construcciones que se tiene en esta zona residencial que es alimentada por la red 21C, además se visualiza el transformador de distribución N°15482.



Figura 3.2. Imagen tomada de la zona residencial de la red 21C y el transformador N°15482

3.1 ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA RED ELECTRICA DE ESTUDIO

De acuerdo con el análisis realizado en el apartado 2.3.4, muchos de los transformadores de distribución residenciales de esta red se encuentran sobrecargados y en algunos casos se presenta subvoltajes, las mismas que alimentan las cargas residenciales acopladas.

En la Tabla 3.2 y en la Figura 3.3 se observa el porcentaje de carga que posee cada uno de los transformadores de distribución residenciales y otros transformadores industriales.

Tabla 3.2. Porcentaje de carga en transformadores sobrecargados del estudio de demanda diaria sin SRDVE

N° de transformador	Nodo origen	Nodo destino	Carga (%)
161730	108123MA	106028MA	240,5
34497	104591MA	109227MA	204,0
163127	10858MS	7034MS	127,5
163125	10760MS	9528MS	123,8
163393	8632MS	10054MS	150,9
163126	6376MS	9059MS	118,5
163396	5465MS	10766MS	189,5
163394	8768MS	12365MS	124,7
163957	89518MA	137179MA	103,1
165007	138357MA	124961MA	135,5
49584	133684MA	99243MA	151,1
47908	91727MA	128089MA	224,6
40416	136682MA	107783MA	113,0
21741	11679MS	9900MS	144,4

N° de transformador	Nodo origen	Nodo destino	Carga (%)
17226	9015MA	136963MA	123,7
111993	132378MA	99629MA	112,8
100370	107592MA	95035MA	131,9
115153	110765MA	137441MA	189,1
32968	143881MA	114176MA	212,7
28769	95992MA	95967MA	165,0
47365	111355MA	126947MA	108,7
28952	119880MA	120438MA	334,5
115249	111040MA	113009MA	174,3
60586	117967MA	117733MA	100,2
41271	141769MA	133173MA	145,0
37981	88698MA	105553MA	200,7
43291	134778MA	455734MA	130,1
164015	91482MA	108937MA	151,9
50925	97377MA	130073MA	121,9
22040	139714MA	102422MA	250,4
163841	427873MA	111456MA	274,8
15504	7181MS	9221MS	167,9
165704	87742MA	8410MA	177,7
15484	92493MA	89356MA	337,5
21032	139386MA	88248MA	176,6
15489	108685MA	92470MA	102,5
15487	101836MA	125138MA	197,9
15486	107507MA	137614MA	147,5
15493	98506MA	133841MA	102,6
15482	87969MA	135557MA	482,3
15481	89828MA	118054MA	251,9

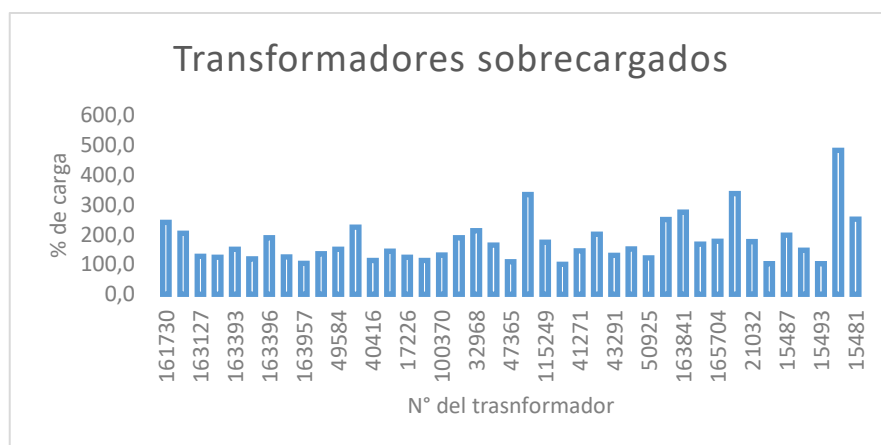


Figura 3.3. Porcentaje de carga en transformadores sobrecargados del estudio de demanda diaria sin SRDVE.

Con este análisis previo, se observa que los transformadores de distribución residenciales mencionados en la Tabla 3.2 y algunos transformadores industriales se encuentran funcionando en sobrecarga. Debido a que esta red tiene muchos años de funcionamiento sin alguna modificación; esta información se la puede corroborar con lo obtenido en la base de datos del ArcGIS de la EEQ S.A. donde como ejemplo se muestra el transformador N°15482 y su fecha de activación (2/1/2000). Con esta información mostrada no se quiere decir que la red en estudio lleva mucho tiempo sin modificarse y que es necesario una intervención de personal técnico para hacer cambios y evitar un posible colapso, solo se hace ver los años de funcionamiento de un equipo.

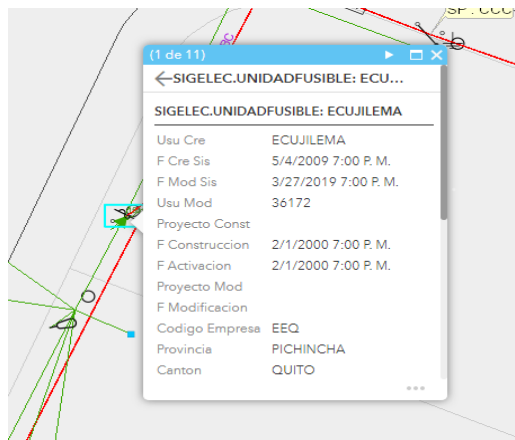


Figura 3.4. Datos del transformador N°15482.

Teniendo en cuenta este estudio previo, se hizo dos estudios posteriores con la integración de sistemas de recarga domiciliaria para VE, el primer estudio se lo hizo con datos de consumo diario y bajo la condición de máxima demanda, es decir que los usuarios de estos sistemas utilizarán el 100% de la carga instalada en sus domicilios incluyendo los sistemas de recarga domiciliaria para VE.

A continuación, se presenta la Tabla 3.3 y en la Figura 3.5 que muestra el porcentaje de carga bajo las condiciones ya mencionadas en el párrafo anterior.

Tabla 3.3. Porcentaje de carga en transformadores sobrecargados del estudio con el 100% de demanda diaria con SRDVE.

Nro. equipo	Nodo origen	Nodo destino	Carga (%)
161730	108123MA	106028MA	151,1
34497	104591MA	109227MA	173,3
163127	10858MS	7034MS	291,9
163125	10760MS	9528MS	304,6
163393	8632MS	10054MS	386,0

Nro. equipo	Nodo origen	Nodo destino	Carga (%)
163126	6376MS	9059MS	286,9
163396	5465MS	10766MS	358,7
163395	3829MS	11132MS	109,4
163394	8768MS	12365MS	317,2
47908	91727MA	128089MA	318,1
40416	136682MA	107783MA	110,5
115153	110765MA	137441MA	227,1
32968	143881MA	114176MA	312,8
33834	90913MA	104830MA	121,9
28769	95992MA	95967MA	267,1
47365	111355MA	126947MA	174,5
28952	119880MA	120438MA	190,9
115249	111040MA	113009MA	244,4
60586	117967MA	117733MA	100,7
37981	88698MA	105553MA	346,3
43291	134778MA	455734MA	233,2
164015	91482MA	108937MA	222,7
50925	97377MA	130073MA	225,8
22040	139714MA	102422MA	367,7
163841	427873MA	111456MA	379,6
15504	7181MS	9221MS	105,5
32726	8860MS	9889MS	111,3
165704	87742MA	8410MA	111,6
15485	121899MA	134693MA	165,8
15484	92493MA	89356MA	525,7
21032	139386MA	88248MA	254,8
15489	108685MA	92470MA	185,7
15487	101836MA	125138MA	302,4
15486	107507MA	137614MA	262,6
15491	131923MA	105852MA	150,9
31073	88517MA	115244MA	140,0
43449	96323MA	101733MA	188,1
15493	98506MA	133841MA	148,1
15482	87969MA	135557MA	484,2
15481	89828MA	118054MA	279,8

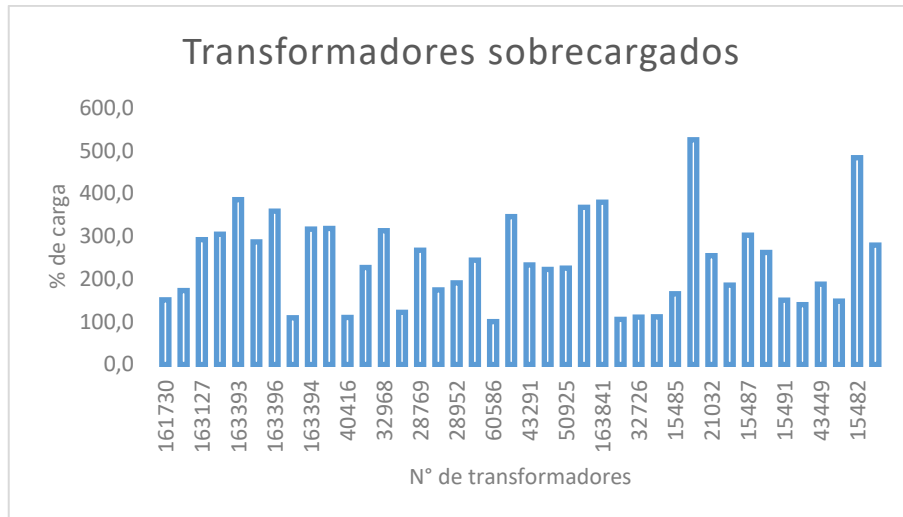


Figura 3.5. Porcentaje de carga en transformadores sobrecargados del estudio con el 100% de la demanda diaria con SRDVE.

Con el análisis contiguo, se trató de acercarse a un estudio “real” donde los usuarios usen los sistemas de recarga domiciliaria para VE durante horas de la noche, para esto se tomó la condición de una demanda diaria nocturna del 5% del total de la carga instalada sin sistemas de recarga domiciliares para VE y la suma de la demanda diaria al 100% de los sistemas de recarga domiciliares para VE, con estas condiciones se obtuvo los resultados reflejados en la Tabla 3.4 y la Figura 3.6.

Tabla 3.4. Porcentaje de carga en transformadores sobrecargados del estudio con las condiciones del 5% de la demanda diaria sin SRDVE y el 100% de la demanda diaria de los SRDVE.

Nro. equipo	Nodo origen	Nodo destino	Carga (%)
161730	108123MA	106028MA	208,5
163127	10858MS	7034MS	299,6
163125	10760MS	9528MS	319,5
163393	8632MS	10054MS	408,7
163126	6376MS	9059MS	314,6
163396	5465MS	10766MS	361,2
163395	3829MS	11132MS	114,1
163394	8768MS	12365MS	335,8
165007	138357MA	124961MA	103,7
47908	91727MA	128089MA	264,1
21741	11679MS	9900MS	125,2
17226	9015MA	136963MA	107,2
115153	110765MA	137441MA	175,2

Nro. equipo	Nodo origen	Nodo destino	Carga (%)
32968	143881MA	114176MA	278,2
33834	90913MA	104830MA	105,8
28769	95992MA	95967MA	250,6
47365	111355MA	126947MA	162,9
28952	119880MA	120438MA	256,7
115249	111040MA	113009MA	193,9
41271	141769MA	133173MA	125,7
37981	88698MA	105553MA	312,8
43291	134778MA	455734MA	214,7
164015	91482MA	108937MA	188,8
50925	97377MA	130073MA	214,8
22040	139714MA	102422MA	326,8
163841	427873MA	111456MA	297,8
15504	7181MS	9221MS	115,7
165704	87742MA	8410MA	154,1
15485	121899MA	134693MA	157,7
15484	92493MA	89356MA	476,5
21032	139386MA	88248MA	206,3
15489	108685MA	92470MA	172,0
15487	101836MA	125138MA	254,5
15486	107507MA	137614MA	241,0
15491	131923MA	105852MA	134,0
31073	88517MA	115244MA	147,6
43449	96323MA	101733MA	178,1
15493	98506MA	133841MA	119,9
15482	87969MA	135557MA	556,2
15481	89828MA	118054MA	178,8

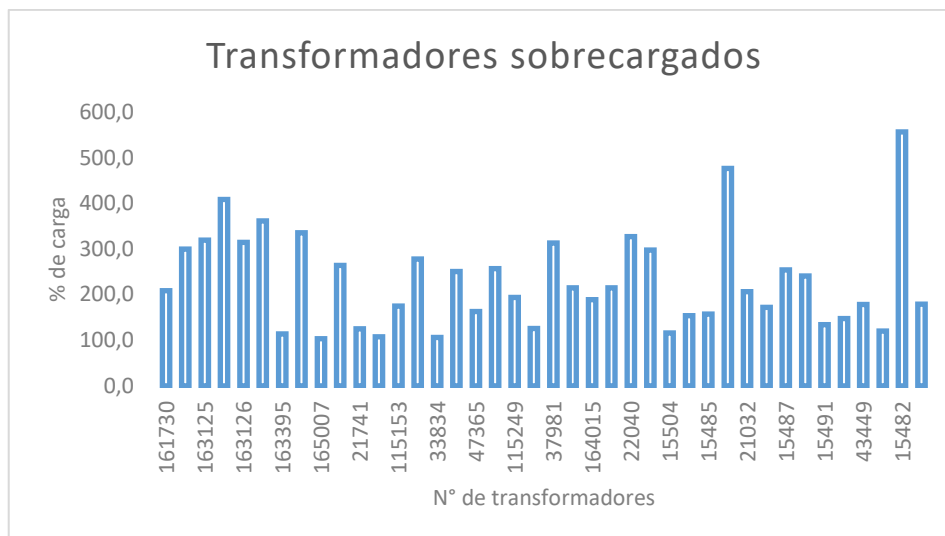


Figura 3.6. Porcentaje de carga en transformadores sobrecargados con las condiciones del 5% de la demanda diaria sin SRDVE y la suma del 100% de la demanda diaria de los SRDVE.

Como se esperaba después de hacer este estudio, los transformadores de distribución residenciales que ya tenían sobrecarga tienen un porcentaje de sobrecarga más elevado y otros transformadores que en el primer estudio no se encontraban sobrecargados, después de la inclusión de los sistemas de recarga domiciliaria para VE se sobrecargaron.

Por el tiempo de existencia de la red 21C y el rápido crecimiento de la carga y demanda en esta zona, la red residencial se encuentra sobrecargada y más aún si entran los sistemas de recarga domiciliaria para VE. También se hizo una comparación con la Guía para diseño de redes para distribución Parte A, elaborada por la EEQ S.A., donde, en la sección A-11 “Parámetros de diseño” en la tabla de “Demandas máximas diversificadas” se muestra la demanda por el número de usuarios y el nivel de estrato. Con el fin de determinar la potencia óptima del transformador que alimente a estos usuarios, este análisis arrojó los datos que se mencionan a continuación.

3.1.1 ACTUALIDAD DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Se hace una comparativa de la potencia que actualmente suministra la red de estudio 21C y la potencia sugerida por la normativa vigente en la EEQ, así que de esta manera y siguiendo con el ejemplo del transformador N°15482 donde el número de usuarios es 116 y la potencia del transformador es 50 [kVA], se hace la comparación con esta Guía de Diseño donde para el número de usuarios mencionados la Demanda máxima diversificada (DMD) para el estrato C es de 150.31 [kW] y para el estrato D es de 116.71 [kW], que con

las normas establecidas en la Guía de Diseño se obtiene con la Ecuación (3.1) la Demanda de diseño (DD) y por consiguiente el valor óptimo del transformador. Se trabajó con el estrato más bajo en esta zona residencial (estrato D):

Estrato D

$$DD = (DMD + D_{A/P} + D_{PT}) / FP \quad (3.1)$$

Para 116 usuarios.

$$DMD = 116.71 \text{ [kW]}$$

$$DD = (116.71 + 0 + 3.84) / 0.95$$

$$DD = 126.89 \text{ [kVA]}$$

DD: Demanda de diseño.

DMD: Demanda máxima diversificada.

$D_{A/P}$: Demanda de alumbrado público.

D_{PT} : Demanda de pérdidas técnicas resistivas (en la red secundaria, acometidas y contadores de energía).

FP: Factor de potencia.

En base a la Demanda de diseño (DD) calculada y a los conceptos de las normas de la EEQ S.A., se determina la capacidad de los transformadores. A continuación, con la Ecuación (3.2) se presenta el cálculo justificativo de la capacidad óptima del transformador.

$$kVA(t) = (DD * (\%)) + DMD_{CE} \quad (3.2)$$

DMD_{CE} = Demanda máxima diversificada para cargas especiales, en caso de existir.

$$DD = 126.89 \text{ [kVA]}$$

$$\% \text{ Estrato D} = 80 \text{ [\%]}$$

$$DMD_{CE} = 0 \text{ [kVA]}$$

$$kVA(t) = (126.89 * 0.80) + 0.0$$

$$kVA(t) = 101.51 \text{ [kVA]}$$

Por lo tanto, se tiene un valor óptimo de transformador de distribución de 101.51 [kVA] y debido a que este valor no es normalizado, se escoge un transformador de 125 [kVA], lo que lo hace distinto de la potencia con que funciona normalmente (50 [kVA]).

Haciendo este cambio en el transformador de distribución N°15482 se obtiene un porcentaje de carga de 193.8% que se puede observar en la Figura 3.7 que de igual manera es alto, pero disminuye con respecto al primer estudio sin la incorporación de sistemas de recarga domiciliaria para VE donde el porcentaje de carga en este mismo transformador es de 482.3%.

	Nro. equipo	Nodo origen	Nodo destino	Potencia total de paso (MVA)	Carga (%)
32	15504	7181MS	9221MS	0	167,9
33	165704	87742MA	8410MA	0	177,7
34	15484	92493MA	89356MA	0	338,5
35	21032	139386MA	88248MA	0	176,6
36	15489	108685MA	92470MA	0	102,5
37	15487	101836MA	125138MA	0	197,9
38	15486	107507MA	137614MA	0	147,5
39	15493	98506MA	133841MA	0	102,6
40	15482	87969MA	135557MA	0	193,8
41	15481	89828MA	118054MA	0	251,8

Figura 3.7. Porcentaje de carga en el transformador N°15482 después del cambio de potencia.

Este análisis es aplicable a todos los transformadores del estudio que están con sobrecarga, es así que se podría ver una disminución considerable en cuanto a sobrecargas y subtensiones.

3.1.2 FRECUENCIAS ARMÓNICAS EN LA RED

Para realizar este estudio se tomó como referencia los trabajos [26] y [27], por ser análisis completos de armónicos debido a la inclusión de vehículos eléctricos en las redes de distribución. Dicho esto, los armónicos que ingresan a la red de distribución son en su mayoría los 3, 5, 7 y 9, con esto como referencia se realizó el debido análisis en el software CYMDIST. Los porcentajes de las corrientes armónicas se basaron en los estudios realizados en [26] para el vehículo eléctrico Nissan Leaf. Esto se lo detalla mejor en la Tabla 2.8.

El reporte de corriente armónica se lo presenta en la Tabla 3.5 que muestra a detalle el porcentaje de THD en cada línea del transformador de distribución residencial N°15482.

Tabla 3.5. Reporte de corriente armónica debido a la inclusión de SRDVE en el transformador N°15482.

Número de dispositivo	Tipo de dispositivo	Frec. (Hz)	Angulo (grad)	IHD (%)	THD (%)
15482-A	Transformador con dos devanados	60,00	11,18	0,000	7,905
15482-A	Transformador con dos devanados	180,00	82,73	7,736	7,905
15482-A	Transformador con dos devanados	300,00	-42,14	0,767	7,905
15482-A	Transformador con dos devanados	420,00	-166,98	0,947	7,905
15482-A	Transformador con dos devanados	540,00	68,20	1,075	7,905
15482-B	Transformador con dos devanados	60,00	-168,08	0,000	7,939
15482-B	Transformador con dos devanados	180,00	-97,28	7,769	7,939
15482-B	Transformador con dos devanados	300,00	137,86	0,770	7,939
15482-B	Transformador con dos devanados	420,00	13,02	0,951	7,939
15482-B	Transformador con dos devanados	540,00	-111,80	1,080	7,939
15482-C	Transformador con dos devanados	60,00	119,80	0,000	0,000
15482-C	Transformador con dos devanados	180,00	113,78	0,000	0,000
15482-C	Transformador con dos devanados	300,00	21,26	0,000	0,000
15482-C	Transformador con dos devanados	420,00	1,72	0,000	0,000
15482-C	Transformador con dos devanados	540,00	-27,30	0,000	0,000
15482-N	Transformador con dos devanados	60,00	0,00		0,000
15482-N	Transformador con dos devanados	180,00	0,00		0,000
15482-N	Transformador con dos devanados	300,00	0,00		0,000
15482-N	Transformador con dos devanados	420,00	0,00		0,000
15482-N	Transformador con dos devanados	540,00	0,00		0,000

Según la norma IEEE STD 519-2014 Establece que los límites de distorsión de corrientes armónicas es el 12% y al fijarnos en el estudio realizado en este trabajo de titulación sobre corrientes armónicas, el THD máximo es de 7.939%, es decir un nivel bajo los límites establecidos, debemos tomar en cuenta que el estudio se realizó para el transformador N°15482 que es el que más porcentaje de sobrecarga tiene, debido a su baja capacidad y al alto número de usuarios acoplados a él.

Debido al resultado obtenido en este estudio no se requiere de la incorporación de filtros para mitigar estas corrientes armónicas, aunque debido al crecimiento de la carga y demanda y la entrada de nuevas tecnologías, estos elementos de mitigación serán de uso obligatorio para no causar pérdidas graves y accidentes en las redes de distribución.

3.1.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ESTUDIO REALIZADO

Después de las simulaciones realizadas para este estudio, se determinaron varios resultados que fueron arrojados por el software CYMDIST. En esta tabla resumen se muestra los resultados que se obtuvieron de la red eléctrica en análisis.

Por la extensión que representa el estudio realizado, se puso pequeñas referencias de los anexos para visualizar los resultados obtenidos.

Tabla 3.6. Tabla resumen de equipos para el redimensionamiento pertenecientes a la red eléctrica estudiada.

Transformadores de distribución residenciales				
Demanda diaria de la red eléctrica de distribución 21C sin la incorporación de SRDVE.				
Nro. equipo	Nodo origen	Nodo destino	Potencia total de paso (MVA)	Carga (%)
161730	108123MA	106028MA	0	240,5
34497	104591MA	109227MA	0	204,0
163127	10858MS	7034MS	0	127,5
163125	10760MS	9528MS	0	123,8
163393	8632MS	10054MS	0	150,9
163126	6376MS	9059MS	0	118,5
163396	5465MS	10766MS	0	189,5
163394	8768MS	12365MS	0	124,7
163957	89518MA	137179MA	0	103,1
Demanda diaria de la red eléctrica de distribución 21C con la incorporación de SRDVE en condición de máxima demanda.				
Nro. equipo	Nodo origen	Nodo destino	Potencia total de paso (MVA)	Carga (%)
161730	108123MA	106028MA	0	151,1
34497	104591MA	109227MA	0	173,3
163127	10858MS	7034MS	0	291,9
163125	10760MS	9528MS	0	304,6
163393	8632MS	10054MS	0	386,0
163126	6376MS	9059MS	0	286,9
163396	5465MS	10766MS	0	358,7
163395	3829MS	11132MS	0	109,4
163394	8768MS	12365MS	0	317,2
Demanda diaria de la red eléctrica de distribución 21C con la incorporación de SRDVE en condición de recarga nocturna.				

Transformadores de distribución residenciales

Nro. equipo	Nodo origen	Nodo destino	Potencia total de paso (MVA)	Carga (%)
161730	108123MA	106028MA	0	208,5
163127	10858MS	7034MS	0	299,6
163125	10760MS	9528MS	0	319,5
163393	8632MS	10054MS	0	408,7
163126	6376MS	9059MS	0	314,6
163396	5465MS	10766MS	0	361,2
163395	3829MS	11132MS	0	114,1
163394	8768MS	12365MS	0	335,8

Resumen: Los resultados arrojados por el software CYMDIST muestra a los transformadores de distribución de la red 21C con altos porcentajes de sobrecarga, desde el estudio de la red eléctrica sin la incorporación de SRDVE hasta, pasando por el estudio en máxima demanda con los SRDVE y el estudio bajo la condición de recarga nocturna de VE con dichos sistemas.

Líneas y cables en la red eléctrica de distribución

Líneas y cables en demanda diaria de la red eléctrica de distribución 21C sin la incorporación de SRDVE.

Nro. equipo	Nodo origen	Nodo destino	Id equipo	Código	V (kVLL)	Tensión de base (kVLL)	Longitud (mi)	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kvar)	Potencia total de paso (kVA)	Fp promedio (%)	IEquil (A)	Desfase I (°)	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kvar)	Carga (%)
14110MS	SE21C	14110MS	3P_25KV.AL.750	Cable	22,7	22,860	0,1	5007	1540	5241	95,46	133,3	-17,17	0,9	1,6	18,2
1083236MA	14110MS	1083236MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	5007	1557	5243	95,41	133,4	-17,29	0,5	0,9	37,2
1083235MA	1083236MA	1083235MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	5006	1556	5242	95,41	133,4	-17,29	0,7	1,2	37,2
159955MA	1083235MA	159955MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	5005	1555	5241	95,41	133,4	-17,29	0,1	0,2	37,2
154781MA	159955MA	154781MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	5005	1555	5241	95,42	133,4	-17,29	0,5	0,9	37,2
116404MA	154781MA	116404MA	DES.CU.4,DES.CU.4,DES.CU.4,DES.CU.4,N,N,W	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	15	4	15	96,42	0,4	-15,35	0,0	0,0	0,2
109275MA	116404MA	109275MA	DES.CU.4,DES.CU.4,DES.CU.4,DES.CU.4,N,N,W	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	15	4	15	96,42	0,4	-15,35	0,0	0,0	0,2
23639MA	154781MA	23639MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	4990	1550	5225	95,42	133,0	-17,29	0,8	1,4	37,1
160459MA	23639MA	160459MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	4971	1544	5205	95,41	132,5	-17,31	1,0	1,7	37,0

Líneas y cables en demanda diaria de la red eléctrica de distribución 21C con la incorporación de SRDVE en condición de máxima demanda.

Líneas y cables en la red eléctrica de distribución

Nro. equipo	Nodo origen	Nodo destino	Id equipo	Código	V (kVLL)	Tensión de base (kVLL)	Longitud (mi)	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kvar)	Potencia total de paso (kVA)	Fp promedio (%)	IEquil (A)	Desfase I (°)	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kvar)	Carga (%)
14110MS	SE21C	14110MS	3P_25KV.AL.750	Cable	22,7	22,860	0,1	5008	1549	5242	95,39	133,3	-17,18	0,9	1,6	18,6
1083236MA	14110MS	1083236MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC62	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	5007	1558	5243	95,34	133,4	-17,30	0,6	0,9	38,0
1083235MA	1083236MA	1083235MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC62	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	5006	1557	5243	95,34	133,4	-17,30	0,7	1,2	38,0
159955MA	1083235MA	159955MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC62	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	5005	1556	5242	95,35	133,4	-17,30	0,1	0,2	38,0
154781MA	159955MA	154781MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC62	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	5005	1556	5241	95,35	133,4	-17,30	0,5	0,9	38,0
116404MA	154781MA	116404MA	DES.CU.4,DES.CU.4,DES.CU.4,DES.CU.4,NV,NE,3CP	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	9	2	9	97,18	0,2	-13,43	0,0	0,0	0,1
109275MA	116404MA	109275MA	DES.CU.4,DES.CU.4,DES.CU.4,DES.CU.4,NV,NE,3CP	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	9	2	9	97,18	0,2	-13,44	0,0	0,0	0,1
23639MA	154781MA	23639MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC62	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	4996	1553	5232	95,35	133,1	-17,31	0,8	1,4	38,0
160459MA	23639MA	160459MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC62	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	4984	1549	5219	95,35	132,8	-17,32	1,0	1,7	37,9

Líneas y cables en demanda diaria de la red eléctrica de distribución 21C con la incorporación de SRDVE en condición de recarga nocturna.

Nro. equipo	Nodo origen	Nodo destino	Id equipo	Código	V (kVLL)	Tensión de base (kVLL)	Longitud (mi)	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kvar)	Potencia total de paso (kVA)	Fp promedio (%)	IEquil (A)	Desfase I (°)	Pérdidas totales (kW)	Pérdidas totales (kvar)	Carga (%)
14110MS	SE21C	14110MS	3P_25KV.AL.750	Cable	22,7	22,860	0,1	5007	1548	5241	95,43	133,3	-17,18	0,9	1,6	18,3
1083236MA	14110MS	1083236MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.2/0,N	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	5006	1558	5243	95,38	133,4	-17,29	0,5	0,9	37,4
1083235MA	1083236MA	1083235MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.2/0,N	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	5006	1557	5242	95,39	133,4	-17,30	0,7	1,2	37,4
159955MA	1083235MA	159955MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.2/0,N	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	5005	1556	5241	95,39	133,4	-17,30	0,1	0,2	37,4
154781MA	159955MA	154781MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.2/0,N	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	5005	1555	5241	95,39	133,4	-17,30	0,5	0,9	37,4
116404MA	154781MA	116404MA	DES.CU.4,DES.CU.4,DES.CU.4,DES.CU.4,NV,NE,3CP	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	12	3	12	96,85	0,3	-14,22	0,0	0,0	0,2
109275MA	116404MA	109275MA	DES.CU.4,DES.CU.4,DES.CU.4,DES.CU.4,NV,NE,3CP	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	12	3	12	96,85	0,3	-14,22	0,0	0,0	0,2
23639MA	154781MA	23639MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.2/0,N	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	4993	1552	5228	95,39	133,0	-17,30	0,8	1,4	37,3
160459MA	23639MA	160459MA	AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.4/0,AAAC6201.2/0,N	Línea aérea por fase	22,7	22,860	0,0	4976	1547	5211	95,39	132,6	-17,32	1,0	1,7	37,2

Resumen: Los resultados arrojados por el software CYMDIST muestra a las líneas y cables pertenecientes a la red 21C con bajos niveles de carga, desde el estudio de la red eléctrica sin la incorporación de SRDVE hasta, pasando por el estudio en máxima demanda con los SRDVE y el estudio bajo la condición de recarga nocturna de VE con dichos sistemas. Esto denota que las líneas y cables de esta red eléctrica están perfectamente dimensionados y hasta sobredimensionados para soportar las demandas de los usuarios.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El vehículo eléctrico resulta la opción más económica a futuro para los consumidores debido a factores como: estar exentos de impuestos a las importaciones, el menor costo de la energía eléctrica (kWh) con respecto a combustibles fósiles, mantenimiento casi nulo en sus partes mecánicas, mayor espacio interior, mejor aprovechamiento de la potencia del motor, menor impacto ambiental (emanación nula de gases tóxicos) y contaminación sonora casi nula, además de una autonomía en recorrido cada vez mayor, por lo que son altamente recomendables a corto, pero especialmente a largo plazo.
- A pesar de la innovación tecnológica que representan los vehículos eléctricos, estos todavía no se integran masivamente al patio automotor ecuatoriano. Con el estudio realizado con esta red de distribución (21C) se constató que muchos de los transformadores de distribución instalados en las zonas residenciales afines a este alimentador, se encuentran sobrecargados. Además de que existen puntos en donde los equipos tienen más de 20 años en funcionamiento, y a pesar de que la carga ha aumentado y las normas y guías de distribución se han actualizado, estos equipos siguen brindando el servicio como en sus comienzos.
- Con el análisis realizado previamente y a sabiendas de que muchos equipos de esta red eléctrica se encuentran con sobrecarga y subvoltajes, se realizó dos casos de estudio con la incorporación masiva de sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos; en el primer caso de estudio donde los usuarios harían uso del 100% de la carga instalada, es decir, demanda máxima, se arrojaron datos donde varios transformadores de distribución tenían porcentajes de sobrecarga de hasta 525%, y en el segundo caso de estudio donde los usuarios harían uso de los sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos en horario nocturno, se arrojaron datos donde varios transformadores tenían porcentajes de sobrecarga de hasta 556%; todo esto varía de equipo a equipo y del número de usuarios conectados a cada transformador, también los datos arrojados muestran que las líneas y cables pertenecientes a la red de estudio, se encuentran sobredimensionados, es decir, pueden soportar la demanda que los usuarios exijan a esta red eléctrica.
- Los sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos se los puede definir como cargas no lineales, por lo que son fuentes generadoras de corrientes armónicas. En

este trabajo de titulación se hizo un pequeño estudio sobre la influencia de estas corrientes en la red eléctrica empleando como caso de estudio un transformador de distribución de la red 21C de 50 [kVA], con 116 usuarios conectados a él bajo la condición de 53 usuarios que utilizan sistemas de recarga domiciliaria para vehículos eléctricos. Para este análisis los armónicos inyectados fueron los 3, 5, 7 y 9, de acuerdo a la tabla de carga del vehículo eléctrico Nissan Leaf. Los resultados arrojaron valores de THD no mayores a 7.939%, el cual representa un valor menor al valor máximo de tolerancia establecido por la norma IEEE SDT 519-2014 (12%) que rige actualmente. Con base a este análisis, la incorporación de filtros mitigadores de corrientes armónicas no se hace necesario, pero es posible que por los beneficios que los vehículos eléctricos traen a los usuarios, el número de sistemas de recarga domiciliaria sea mayor a la establecida en este estudio y con el tiempo la incorporación de estos filtros mitigadores sea necesaria para evitar pérdidas y problemas en la red eléctrica.

4.2 RECOMENDACIONES

- Para garantizar la calidad de energía a los clientes y con la finalidad de bajar los porcentajes de sobrecarga en los equipos de esta red eléctrica, es necesaria la actualización de dichos equipos en base a las normas vigentes en la guía para diseño de redes de distribución hecha por la EEQ S.A., ya que varios de estos equipos están por debajo de la potencia establecida en la Guía de Diseño para Redes de Distribución Parte A realizada por la misma empresa distribuidora (EEQ S.A.).
- Es recomendable que la recarga de las baterías de los vehículos eléctricos sea realizada en el horario nocturno, debido a que la demanda eléctrica a esas horas es mínima y el costo del kWh disminuye. Para esto se puede contar con la ayuda de sistemas de recarga domiciliaria inteligentes, los cuales gestionan el nivel de potencia disponible y el horario para la recarga de baterías del vehículo.
- Las empresas distribuidoras deberían recomendar a los usuarios que adquirieron o que vayan a adquirir vehículos eléctricos, que instalen filtros mitigadores de armónicos directamente en los sistemas de recarga domiciliaria, para que estos no interfieran con la calidad de energía, y a futuro no se generen problemas en la red de alimentación. Si esto no se llegase a acatar, se debería poner medidores con analizadores de armónicos, y multar económicamente a los usuarios que envíen un porcentaje mayor al 12% de THD a la red.

- Debido a que existe una variedad de modos de recarga de baterías para vehículos eléctricos, la más recomendable es la carga lenta, ya que las baterías hacen menor esfuerzo y el tiempo de vida se puede prolongar por varios años, a diferencia de la carga media o rápida donde el tiempo de vida de las baterías se ve disminuido.
- Para mejorar la calidad de la energía, los usuarios de vehículos eléctricos deberían contar con la posibilidad de integrar en sus domicilios fuentes de energía externa (generadores eólicos, paneles solares, etc.) y almacenadores de energía (baterías), para que con esta opción su consumo se vea disminuido, tengan una fuente energética para cargar sus vehículos a cualquier hora, y sean una fuente de energía limpia y sustentable.
- Para sacar el mayor provecho al software CYMDIST, se recomienda la utilización de los manuales y tutoriales en formato PDF que vienen adjuntos al programa, además de ejemplos guiados con esquemas precargados, ya que de otro modo este tiende a ser confuso y se corre el riesgo de mal utilizarlo. Este software requiere de una licencia temporal de tesis con todas las herramientas que se vaya a utilizar.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. A. Tapia, D. Vaca, "Acondicionamiento de un motor de combustión interna a gasolina con Sistema de inyección electrónica como maqueta didáctica para la implementación de los laboratorios de la especialidad en ingeniería electromecánica de la unidad académica de ciencias de la ingeniería y aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi", Universidad técnica de Cotopaxi 2010.
- [2] E. Helmers and P. Marx, "Electric cars: technical characteristics and environmental impacts", Helmers and Marx Environmental Sciences Europe 2012.
- [3] J. Yong, V. Ramachandaramurthy, K. Tan, N. Mithulananthan "A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects", Energy Rev, 2015.
- [4] D. Richardson, "Electric Vehicles and the Electric Grid: A Review of Modeling Approaches, Impacts, and Renewable Energy Integration", Energy Rev, 2013.
- [5] J. Sanguesa, V. Torees, P. Garrido, F Martinez, J. Maquez, "A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges", Smart cities, 2021.
- [6] M. Yilmaz, P. Krein, "Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles", IEEE TRANSACTION ON POWER ELECTRONICS, 2013.
- [7] J. Ceballos, E. Caicedo, S. Ospina, "A methodological Proposal to Measure the Impact of Electric Vehicles on the Electric Grid", Revista Ingeniería, 2016.
- [8] H. Schweiger, O. Obeidi, O. Komesker, A. Raschke, M. Schiemann, C. Zehner, M. Gehnen, M. Keller, P. Birke, "Comparison of Several Methods for Determining the Internal Resistance of Lithium-Ion Cells", Sensors 2010.
- [9] H. Wu, Sh. Cheng, Sh. Cui, "A controller of brushless DC Motor for Electric Vehicle", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, 2005.
- [10] B. Guru, H. Hiziroglu, "Maquinas eléctricas y transformadores", tercera edición, OXFORD, 2006.
- [11] D. Duque, J. Rocano, "Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados", Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- [12] N. Hashemnia, B. Asaei, "Comparative Study of Using Different Electric Motors in the Electric Vehicles", International Conference on Electrical Machines, 2008.

- [13] E. Jaramillo, E. Morales, "Sistema de Frenos Regenerativos en Autos Eléctricos e Híbridos en el Taller Automotriz Quinteros en el Barrio Martha Bucaram", Universidad Central del Ecuador, 2018.
- [14] M.Sandoval, J. Bonilla, E. Tusa, O. Quintero, "Controlador de un Vehículo eléctrico Utilizando los Sistemas de Inferencia Mandani y Sugeno", Colegio Politécnico de la Universidad San Francisco de Quito.
- [15] S. Ramirez "Redes de Distribución de Energía", Universidad Nacional de Colombia, Tercera edición, Manizales.
- [16] L. Santander, C. Angeles, "Implementation of distributed compensation in the transmission lines design", IEEE CONVENTION, 2015.
- [17] L. Chang, B. Zhi, X. Xian, L. Ya, "Research of Harmonic Distortion Power for Harmonic Source Detection", Sichuan University.
- [18] Revista digital varus Ecuador "vehículos eléctricos particulares", <https://varusecuador.com/vehiculos-particulares/>
- [19] Diario EL UNIVERSO, "Se hacen pruebas de carros eléctricos en el país", 21 de octubre de 2013.
- [20] Costas J. "¿Cuánto cuesta cargar un coche eléctrico?", (2017, marzo 02), extraído de: <https://www.motor.es/noticias/cuanto-cuesta-cargar-coche-electrico-201734364.html>
- [21] Juárez M. "KIA Sportage EX pack 2021, aprueba", (2020, diciembre 21), extraído de: <https://www.motorpasion.com.mx/industria/kia-sportage-ex-pack-2021-prueba-manejo-resena-opiniones-galeria>
- [22] Torres W. "Precio sugerido de gasolina super sube a \$3.52 en enero de 2022", primicias, (2022, enero 12), extraído de: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/petroecuador-gasolina-super-enero-ecuador/>
- [23] Empresa Eléctrica Quito S.A. "PLIEGO TARIFARIO ENERO DE 2016", 01 de enero de 2016.
- [24] Martín J. "Probamos el Hyundai Sante Fe a diésel de 200 CV", (2021, noviembre 09), extraído de: <https://www.motorpasion.com/pruebas-de-coches/hyundai-santa-fe-2021-prueba>
- [25] Sosa M., "Normas para sistemas de distribución Parte A", Empresa Eléctrica Quito S.A., marzo 2015.

- [26] Barrera A. León C. “Estudio de la perturbación armónica ocasionada por la conexión de vehículos eléctricos con tecnología V2G en un sistema de distribución”, Universidad La Salle, Bogotá Colombia, 2020.
- [27] Hernandez D. “Incidencia de los Armónicos en la red de Distribución Eléctrica Causada por la Inclusión de Vehículos Eléctricos”, Universidad Politécnica Salesiana, julio 2018.
- [28] Licencia temporal de tesis del programa CYMDIST otorgada por la empresa TRADUREP.

ANEXOS

Anexo 1: Transformadores y usuarios con demandas modificadas

Anexo 2: Estudio de la red sin la incorporación de vehículos eléctricos

Anexo 3: Estudio de la red con máxima demanda

Anexo 4: Estudio de la red con recarga nocturna

Anexo 5: Estudio de frecuencias armónicas

ORDEN DE EMPASTADO