



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Eléctrica

**Diseño del sistema eléctrico en baja tensión para estaciones de
carga de autobuses eléctricos**

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

Autor:

Wilder Lenin Alvear Muevecela

CI: 0104578216

Director:

Juan Leonardo Espinoza Abad PhD.

CI: 0102559325

Asesor:

Luis Gerardo González Morales PhD.

CI: 1729711059

CUENCA - ECUADOR

16/04/2019



RESUMEN

En el presente proyecto se realiza el diseño de la infraestructura eléctrica en baja tensión para las estaciones de carga que alimentarían a una flota promedio de 68 autobuses eléctricos del consorcio CONCUENCA en la ciudad de Cuenca. La infraestructura de carga para la flota seleccionada se compone de 6 centros de carga independientes de iguales características, ubicados en diferentes sectores en la ciudad, cada uno tiene una potencia nominal de 500 kVA, cada centro dispone de 6 estaciones de carga o cargadores. Los centros de carga se alimentan desde la red de distribución en media tensión de la empresa Centrosur, cada uno dispone de un centro de seccionamiento en media tensión, un centro de transformación y una instalación en baja tensión. La red en baja tensión alimenta a los cargadores, los cuales se encargan de satisfacer la demanda energética de los autobuses eléctricos en los horarios de menor, medio y mayor consumo.

Palabras clave: Demanda. Media tensión. Baja tensión. Diseño eléctrico. Caída de tensión. Pérdidas de potencia. Horarios de consumo.



ABSTRACT

In the present project makes the design of low voltage electrical infrastructure of a loading station for an average fleet of 68 electric buses of the CONCUENCA consortium in city of Cuenca. The load infrastructure for the selected fleet consists 6 independent load centers, with the same characteristics, located in different sectors of city, each with a nominal power of 500 kVA and 6 charging stations or loaders. The load centers feeds from the medium voltage distribution network of the Centrosur Company, each of which has a medium voltage sectionalization center, a transformation center and a low voltage installation. The low voltage network feeds the chargers, which are responsible for satisfying energy demand of electric buses in the hours of the lowest, medium and highest consumption.

Keywords: Demand. Medium voltage. Low voltage. Electrical design. Voltage drop. Power losses. Consumption schedules.



ÍNDICE

CAPÍTULO I	19
INTRODUCCIÓN	19
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.	19
1.2. JUSTIFICACIÓN.	21
1.3. ALCANCE.	22
1.4. OBJETIVOS.	22
1.5. METODOLOGÍA.....	23
1.6. CONTENIDO.....	23
CAPÍTULO II	25
RECARGA DE LOS AUTOBUSES ELÉCTRICOS	25
2.1. AUTOBUSES ELÉCTRICOS.....	25
2.1.1. AUTOBUSES HÍBRIDOS	25
2.1.2. AUTOBUSES ELÉCTRICOS.....	26
2.1.2.1. AUTOBUSES ELÉCTRICOS SIN RECARGA	26
2.1.2.2. AUTOBUSES ELÉCTRICOS CON RECARGA	27
2.2. BATERÍAS.	28
2.2.1. FUNCIONAMIENTO.....	29
2.2.2. TIPOS DE BATERÍAS SECUNDARIAS.....	29
2.2.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS.....	32
2.3. DEMANDA DEL AUTOBUS ELÉCTRICO.	33
2.4. EFECTO DEL AUTOBÚS ELÉCTRICO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN.....	34
2.5. CIUDADES SOSTENIBLES.	36
2.6. CENTRO DE CARGA.....	53
2.7. CLASIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CARGA.	54
2.7.1. TIPO DE CARGA	54
2.8. INFRAESTRUCTURA DEL CENTRO DE CARGA.	55
2.8.1. CARGADORES.....	56
2.8.2. CONECTORES	59
2.8.3. ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN	60
2.9. DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA DE CARGA.	63
CAPÍTULO III	64



MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	64
3.1. ANTECEDENTES.....	64
3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	65
3.1.2. UBICACIÓN.....	66
3.1.3. OBJETIVO.....	72
3.1.4. REGULACIÓN.....	72
3.2. PREVISIÓN DE LA DEMANDA.....	73
3.3. RED DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN.....	74
3.3.1. ACOMETIDAS.....	74
3.3.1.2. CONDUCTOR DE MEDIA TENSIÓN.....	75
3.4. CENTRO DE SECCIONAMIENTO.....	76
3.4.1. CELDAS RM6.....	77
3.4.2. CENTRO DE MANIOBRA MONOBLOQUE.....	78
3.5. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.....	79
3.5.1. TRANSFORMADOR DE POTENCIA.....	79
3.5.1.1. PUENTES DE CONEXIÓN.....	80
3.5.2. CELDAS DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.....	81
3.5.2.1. CELDA DE LÍNEA.....	82
3.5.2.2. CELDA DE PROTECCIÓN.....	83
3.5.2.3. CELDA DE MEDIDA.....	84
3.5.3. CABINA PREFABRICADA.....	85
3.5.4. CUADRO DE BAJA TENSIÓN.....	86
3.5.4.1. CUADRO GENERAL DE BAJA TENSIÓN.....	86
3.5.5. PUESTAS A TIERRA.....	87
3.5.5.1. INSTALACIÓN DE PUESTAS A TIERRA.....	88
3.5.5.2. INSTALACIÓN DEL MALLADO DE PUESTA A TIERRA.....	88
3.5.5.3. INSTALACIÓN DEL PARARRAYOS DE PUESTA A TIERRA.....	88
3.6. CONTADOR PRINCIPAL.....	90
3.7. RED DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN.....	90
3.7.1. CARGADOR.....	92
3.7.2. LÍNEAS DE BAJA TENSIÓN.....	94
3.7.3. CONDUCTORES DE BAJA TENSIÓN.....	94



3.8.ÁREA DEL CENTRO DE CARGA.	96
3.9. CÁLCULO DEL FACTOR DE DEMANDA.	97
3.10. CÁLCULOS DE LA ACOMETIDA EN MT.	98
3.11. CÁLCULOS DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.	104
3.11.1. CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR.	104
3.11.2. CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO.	105
3.11.3. PUENTES DE MT	106
3.11.4. PROTECCIONES DEL CT	106
3.12. CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN EN BT.	108
3.12.1. CÁLCULO PARA LA INSTALACIÓN DE ESTACIONES DE CARGA.	111
3.12.2. PROTECCIONES DE BAJA TENSIÓN	114
3.13. CÁLCULO DE LAS PUESTAS A TIERRA.	116
3.14. PRESUPUESTO	118
CAPÍTULO IV	120
CONCLUSIONES	120
BIBLIOGRAFÍA	122



Lista de Figuras

Figura 2.1. Sistemas de autobuses híbridos.	26
Figura 2.2. Autobús 100% eléctrico modelo K9, fabricante BYD.....	28
Figura 2.3. Sistemas de autobuses 100% eléctricos.	28
Figura 2.4. Celda y componentes de una batería de Ion-Litio.	31
Figura 2.5. Batería de Litio-ferrofosfato para autobuses eléctricos.....	32
Figura 2.6. Demanda de los autobuses eléctricos.....	33
Figura 2.7. Capacidad instalada, producción eléctrica.	36
Figura 2.8. Uso de vehículos.	38
Figura 2.9. Tiempos de desplazamiento.	39
Figura 2.10. Parámetros de movilidad.	40
Figura 2.11. Ruta del autobús eléctrico en la ciudad de Cuenca.....	41
Figura 2.12. Recarga del autobús eléctrico en el laboratorio de Microred de la Universidad de Cuenca.	42
Figura 2.13. Estado de carga de la batería del autobús eléctrico.....	43
Figura 2.14. Comportamiento de la carga.....	45
Figura 2.15. Calidad de energía.....	48
Figura 2.16. Calidad de energía en 9no y 11vo armónico.	49
Figura 2.17. Rutas y paradas del tranvía en Cuenca.	51
Figura 2.18. Estación de carga para una flota de autobuses eléctricos.....	54
Figura 2.19. Cargador tipo pie de poste.....	57



Figura 2.20. Cargador tipo pantógrafo.	58
Figura 2.21. Cargador de inducción.	58
Figura 2.22. Conector CHAdeMO o Tipo 4.	59
Figura 2.23. Conector CCS o Combo.	60
Figura 2.24. Esquema de instalaciones para flotas de vehículos.	62
Figura 2.25. Estación de carga de autobuses 100% eléctricos.	63
Figura 3.1. Parada El Lirio.....	67
Figura 3.2. Garaje de la compañía Comcuetu S.A.	68
Figura 3.3. Lote de San Joaquín.....	69
Figura 3.4. Estación de Transferencia El Arenal.	70
Figura 3.5. Lote baldío en la calle De la Bandera Nacional.	71
Figura 3.6. Estación de Transferencia del Terminal Cuenca.	72
Figura 3.7. Conductor aislado de media tensión.	75
Figura 3.8. Celdas de la gama RM6.....	77
Figura 3.9. Centro de maniobra monobloque prefabricado.	78
Figura 3.10. Accesorios externos del transformador.	80
Figura 3.11. Celdas de la gama SM6.....	82
Figura 3.12. Celda IM de llegada o salida de línea.	83
Figura 3.13. Celda DM1-C de protección con interruptor automático.	84
Figura 3.14. Celda GBC-2C de medida de tensión e intensidad.	85
Figura 3.15. Centro de transformación.....	86



Figura 3.16. Pararrayos tipo Franklin punta multiple. 89

Figura 3.17. Elementos de la instalación del pararrayos. 90

Figura 3.18. Esquema del contador principal para los autobuses eléctricos. 91

Figura 3.19. Componentes de la caja de carga. 93

Figura 3.20. Diagrama de funciones del cargador. 93

Figura 3.21. Conductor RV-K FOC. 95

Figura 3.22. Red de media tensión. 102

Figura 3.23. Red de baja tensión. 109

Figura 3.24. Red de las estaciones de carga o cargadores. 112

Figura 3.25. Malla de puesta a tierra. 117



Lista de Tablas

Tabla 2.1. Características de las baterías de Ion-litio y níquel.	32
Tabla 2.2. Datos del servicio de 475 autobuses en la ciudad de Cuenca.....	35
Tabla 2.3. Proyección de la demanda para una flota de 68 autobuses eléctricos.	36
Tabla 2.4. Resultados del autobús eléctrico.....	37
Tabla 2.5. Tiempo para el desplazamiento.	38
Tabla 2.6. Resultados de las pruebas del autobús eléctrico.....	50
Tabla 2.7. Capacidad de almacenamiento del autobús eléctrico.....	50
Tabla 2.8. Ubicación de las paradas iniciales-finales de los autobuses.	52
Tabla 2.9. Características de los tipos de carga.....	55
Tabla 2.10. Características de los conectores.....	60
Tabla 2.11. Potencias instaladas normalizadas de los circuitos de alimentación para los centros de carga.	62
Tabla 3.1. Cargas totales para 6 centros de carga.....	74
Tabla 3.2. Cargas para un centro de carga.....	74
Tabla 3.3. Características físicas del conductor RHV Al.	76
Tabla 3.4. Características eléctricas del conductor RHV Al.....	76
Tabla 3.5. Especificaciones eléctricas de las celdas RM6.....	78
Tabla 3.6. Accesorios del transformador.....	79
Tabla 3.7. Dimensiones del transformador.....	80
Tabla 3.8. Resumen de especificaciones eléctricas.....	82
Tabla 3.9. Líneas principales del centro de carga.	91
Tabla 3.10. Características del cargador BYD.	94
Tabla 3.11. Características del cargador BYD.	94
Tabla 3.12. Características del conductor de BT.....	96
Tabla 3.13. Abonados de sectores urbanos o centros cantonales.	98
Tabla 3.14. Líneas de media tensión.	102
Tabla 3.15. Características de la línea en MT.....	102
Tabla 3.16. Especificaciones de los conductores de MT.....	103
Tabla 3.17. Datos de los conductores.....	103
Tabla 3.18. Parámetros de los conductores para las líneas de MT.....	103



Tabla 3.19. Cálculo del momento eléctrico y pérdidas para las líneas en MT.	103
Tabla 3.20. Cálculo de la demanda en MT.....	104
Tabla 3.21. Cálculo de la caída de tensión en MT.	104
Tabla 3.22. Características eléctricas de las protecciones.	108
Tabla 3.23. Líneas en baja tensión.	108
Tabla 3.24. Especificaciones de las líneas en BT.	109
Tabla 3.25. Especificaciones de los conductores en BT.	109
Tabla 3.26. Datos de los conductores.....	110
Tabla 3.27. Datos de los conductores para las líneas en BT.....	110
Tabla 3.28. Datos para el cálculo del Momento eléctrico y pérdidas.....	110
Tabla 3.29. Cálculo de la demanda en BT.	110
Tabla 3.30. Cálculo de la caída de tensión en BT.	111
Tabla 3.31. Líneas de las estaciones de carga en BT.....	111
Tabla 3.32. Especificaciones de las líneas para las estaciones de carga.....	112
Tabla 3.33. Características de los conductores para las estaciones de carga.....	112
Tabla 3.34. Datos de los conductores.....	113
Tabla 3.35. Datos de los conductores para las líneas de las estaciones de carga. ...	113
Tabla 3.36. Cálculo del Momento eléctrico y pérdidas.	113
Tabla 3.37. Cálculo de la demanda para las estaciones de carga.....	113
Tabla 3.38. Cálculo de la caída de tensión para las estaciones de carga.	114
Tabla 3.39. Factores multiplicadores para múltiples electrodos.	116
Tabla 3.40. Costos del centro de seccionamiento.....	118
Tabla 3.41. Costos del centro de transformación.....	118
Tabla 3.42. Costos de los cuadros eléctricos.....	118
Tabla 3.43. Costos de los conductores.	119
Tabla 3.44. Costos totales por centro de carga y de la infraestructura de carga.	119



ANEXOS

ANEXO I. Especificaciones técnicas del autobús BYD, modelo K9.....	127
ANEXO II. Características de las celdas RM6.....	128
ANEXO III. Dimensiones para el centro de maniobra monobloque.	129
ANEXO IV. Especificaciones técnicas del transformador.....	130
ANEXO V. Características de las celdas SM6.	132
ANEXO VI. Dimensiones del Edificio prefabricado serie EHC-4.	133
ANEXO VII. Condiciones de instalación del cargador EVA 080KI.....	134



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Yo, Wilder Lenin Alvear Muevecela en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Diseño del sistema eléctrico en baja tensión para estaciones de carga de autobuses eléctricos", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 16 de abril del 2019.

Wilder Lenin Alvear Muevecela

C.I: 0104578216



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Wilder Lenin Alvear Muevecela, autor del trabajo de titulación "**Diseño del sistema eléctrico en baja tensión para estaciones de carga de autobuses eléctricos**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 16 de abril de 2019.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Wilder Lenin Alvear Muevecela', written over a horizontal line.

Wilder Lenin Alvear Muevecela

C.I: 0104578216



DEDICATORIA

A mis padres por ser el pilar fundamental en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo continuo a través del tiempo.

A mis profesores de la Universidad por los conocimientos impartidos por su dedicación y motivación, en el proceso educativo, ustedes representan una gran inspiración en mi vida y un gran ejemplo a seguir.



AGRADECIMIENTO

Mi reconocimiento y gratitud:

A la Universidad de Cuenca, a sus docentes por la formación profesional recibida en las aulas.

También agradezco a mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado a mi formación. Particularmente agradezco al Dr. Juan Leonardo Espinoza, director del Trabajo de Titulación y al Dr. Luis González por toda la colaboración y asesoramiento brindado a lo largo de la investigación.



Glosario

A: Unidad de corriente eléctrica en (Amperios).

mA: Miliamperio.

kA: Kiloamperio.

V: Unidad de tensión en (Voltios).

kV: Kilovoltio.

kVA: Kilovoltiamperio.

MVA: Megavoltiamperio.

W: Vatio.

kW: Kilovatio.

kWh: Kilovatio hora.

TWh: Teravatio hora.

Wh/kg: Vatios hora por kilogramo de las baterías.

Ω : Unidad de resistencia eléctrica en (Ohmios).

Hz: Unidad de frecuencia (Hertz).

VDC: Voltios de Corriente Continua.

VAC: Voltios de Corriente Alterna.

p.u: Por unidad.

CO₂: Dióxido de carbono.

SF₆: Gas aislante inerte artificial (Hexafluoruro de Azufre).

NiCd: Níquel-Cadmio.

NiMH: Níquel-Hidruro Metálico.

MT: Media Tensión.

BT: Baja Tensión.



PLC: Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller).

SOC: Estado de carga en la batería del autobús eléctrico (State of Charge).

SAVE: Puntos de carga inteligentes que se comunican directamente con un punto de gestión.

DTU: Módulo de control del proceso de carga del autobús eléctrico.

VE: Vehículo eléctrico.

DGMP: Dispositivos Generales de Mando y Protección.

IGA: Interruptor General Automático.

AWG: Calibre de alambre estadounidense (American Wire Gauge).

PVC: Cloruro de polivinilo.

Al: Aluminio.

CS: Centro de seccionamiento.

CT: Centro de Transformación.

CGBT: Cuadro General de Baja Tensión.

CSC: Cuadro Secundario de Cargadores.

CPM: Caja General o Caja de Protección y Medida.

BYD: Empresa fabricante de autobuses eléctricos Construye Tus Sueños (Build Your Dreams).

ABB: Corporación multinacional de tecnologías en generación de energía eléctrica y automatización industrial (Asea Brown Boveri).

IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronic Engineers).

ITC-BT 52: Guía de infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos.

GAD: Gobierno Autónomo Descentralizado.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Actualmente, en el transporte público de varias ciudades la incorporación del autobús eléctrico permite reducir el consumo de los combustibles derivados del petróleo y las emisiones de CO₂. Las empresas dedicadas a la fabricación de autobuses eléctricos están realizando esfuerzos para mejorar la autonomía (incrementando la capacidad de carga de las baterías), disminuir el tiempo de carga y reducir su costo de adquisición, con el objetivo de reemplazar los autobuses, principalmente a diésel, por unidades de transporte eléctricas.

Las estaciones de carga, denominadas electrolinerías destinadas al suministro de energía eléctrica requieren reducir el tiempo de abastecimiento para los autobuses eléctricos, para tal efecto se debe perfeccionar los sistemas de carga.

En las ciudades que se ha propuesto el uso del autobús 100% eléctrico existe la necesidad de instalar estaciones de carga en garajes y paradas. Por este motivo, en el presente trabajo técnico se plantea el diseño de la infraestructura de un conjunto de electrolinerías para autobuses eléctricos alimentadas a partir de la red pública de distribución eléctrica.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

El transporte público, proporcionado por empresas privadas o consorcios de transporte, es un servicio que permite el desplazamiento a los usuarios, en rutas y horarios establecidos. El transporte público, a través de autobuses, taxis, tranvías, trenes, trolebuses, ferrocarriles, ferris, etc. es una alternativa interesante frente a los vehículos



privados, pero cuando funciona utilizando combustibles derivados del petróleo puede ser altamente contaminante [36].

Actualmente, los autobuses de transporte público se impulsan utilizando varias tecnologías de propulsión entre estas: diésel, gasolina, gas natural, híbridos (diésel-eléctrico), corriente eléctrica. Los autobuses a diésel, gasolina y a gas natural se abastecen de combustible una vez al día, en horarios matutinos y nocturnos. En el caso de los autobuses híbridos y de los autobuses 100% eléctricos se cargan generalmente en horarios nocturnos en las horas de menor demanda [21].

El autobús 100% eléctrico no produce contaminación atmosférica ni acústica, debido a que se impulsa utilizando un motor eléctrico, pero requiere recargarse de forma periódica en las estaciones de carga. Estas unidades de transporte, tienen un precio de adquisición alto; sin embargo, su costo de mantenimiento y operatividad es bajo, lo que permite disminuir significativamente el costo del servicio al público [21].

Los centros de carga cumplen la función de suministrar energía al autobús después de terminar el recorrido mediante las estaciones de carga o cargadores (de 2 pistolas c/u). La construcción de los centros de carga se realiza de acuerdo a la disponibilidad y al costo de los equipos. En el diseño de la infraestructura eléctrica de un centro de carga existen dos aspectos que deben definirse: i) el sistema de carga ii) memoria descriptiva de la instalación eléctrica. La memoria descriptiva de la instalación eléctrica, dependerá de las condiciones específicas de cada ciudad o región [55].

Los estudios realizados hasta el momento se refieren a la implementación de centros de carga para abastecer a vehículos eléctricos tales como motocicletas, taxis, autobuses, vehículos de uso particular. Estos estudios tratan aspectos: técnicos, factibilidad, económicos, diseño eléctrico, etc. Los centros de carga actuales están siendo diseñados para funcionar con energía renovable, en algunos casos se busca que sean autónomos mediante la utilización de energía eólica, fotovoltaica o un sistema híbrido.

La mayoría de los centros de carga que están en funcionamiento alrededor del mundo son proyectos pilotos que tienen el propósito de incentivar y motivar a las empresas de



transporte público y especialmente a la ciudadanía para que utilicen medios de transporte amigables con el ambiente, que no dependan de los combustibles derivados del petróleo.

En la presente propuesta, para la ciudad de Cuenca, se pretende realizar el diseño del sistema eléctrico para estaciones de carga de autobuses que contenga: previsión de la demanda, sistema de distribución, centro de seccionamiento, centro de transformación, cálculos eléctricos de conductores y todo lo relacionado al sistema en baja tensión. Se plantea el diseño de la infraestructura de un conjunto de electrolíneas para autobuses eléctricos utilizando las especificaciones técnicas de los equipos proporcionados por el fabricante y la información recopilada durante las pruebas de funcionamiento del autobús eléctrico en la ciudad de Cuenca.

1.2. JUSTIFICACIÓN.

La instalación de centros de carga tiene como objetivo abastecer de energía a los autobuses eléctricos. En Ecuador, la oferta de energía renovable abundante y barata, así como la creciente contaminación ambiental en las ciudades plantea la necesidad de reemplazar los autobuses a diésel por los autobuses eléctricos.

El autobús a diésel es el más utilizado en los actuales momentos en el Ecuador. Se abastece de combustible en pocos minutos y tiene un costo de inversión menor al autobús eléctrico. Las desventajas del autobús a diésel son: la emisión de gases contaminantes, residuos de aceites, contaminación acústica, menor aprovechamiento del combustible, mayor costo en operatividad y mantenimiento. Además, hay que tener presente el precio subsidiado del diésel para estos vehículos, lo cual conlleva un elevado costo económico para el Estado.

El autobús eléctrico a diferencia del autobús a diésel permite reducir los costos de operación y mantenimiento, no genera ruido ni contaminación por emisiones y su velocidad puede ser regulada mediante un software [53].

En el presente trabajo se diseñará la infraestructura para la carga de autobuses eléctricos compuesta por 6 centros de carga independientes de iguales características y



capacidad 500 kVA, los cuales abastecerían de energía a una flota de 68 autobuses, en horario nocturno.

1.3. ALCANCE.

En este proyecto técnico se asume que se conoce la demanda y la disponibilidad de una red de distribución aérea de 22 kV de la empresa Centrosur, que se usará para alimentar la instalación, la cual debe transformarse a una tensión de carga de 440 V a una frecuencia de 60 Hz, para suministrar energía eléctrica a las estaciones de carga para los autobuses.

La infraestructura de carga compuesta por 6 centros de carga objeto de estudio pretende abastecer a una flota de 68 autobuses durante aproximadamente 8 horas diarias, la cual representa el promedio de flota de las 7 empresas privadas que conforman el consorcio CONCUENCA, que actualmente prestan sus servicios de transporte público en la ciudad de Cuenca.

1.4. OBJETIVOS.

Objetivo general

Diseño del sistema eléctrico en baja tensión para la alimentación de un centro de carga de Autobuses Eléctricos.

Objetivos específicos

- Analizar el rendimiento del autobús 100% eléctrico con respecto al autobús diésel.
- Presentar los métodos de recarga de los autobuses eléctricos.
- Diseño del diagrama unifilar eléctrico con su respectiva memoria técnica, para la instalación de un centro de carga para autobuses eléctricos.



1.5. METODOLOGÍA.

Para obtener un conocimiento amplio sobre los centros de carga, en el presente trabajo es conveniente utilizar una metodología que permita la aplicación de varios métodos y técnicas, con el propósito de compilar información sobre: autobuses eléctricos, componentes, equipos, cálculos eléctricos, costos, etc.

En este trabajo se recurrirá a bibliografía especializada sobre el tema en estudio. Además, se utilizará la información de las pruebas realizadas, en la estación de carga del autobús eléctrico, ubicada en el laboratorio de microrred eléctrica-Balzay-U. de Cuenca, en la ciudad de Cuenca. En el diseño de la estación de carga, se aplicará las normativas nacionales y la guía de diseño de instalaciones eléctricas IEC Schneider Electric, según normas internacionales [56].

1.6. CONTENIDO.

El presente trabajo está dividido en cuatro capítulos con un enfoque sistemático que contribuye a un mismo objetivo general y a cumplir los objetivos específicos.

Capítulo I

En el capítulo I se hace la introducción, una explicación general sobre los aspectos principales que componen este trabajo, descripción del problema, justificación, alcance de la investigación, objetivos que se persigue, metodología y contenido.

Capítulo II

En este capítulo se realiza una introducción teórica, un análisis de los sistemas de carga para los autobuses eléctricos, se describe: el autobús eléctrico, baterías, demanda del autobús eléctrico, efecto del autobús eléctrico en la red de distribución, estación de carga, clasificación de los puntos de carga, infraestructura de la estación de carga, diseño de la infraestructura de carga.



Capítulo III

La memoria descriptiva de la instalación eléctrica de la infraestructura de los centros de carga para una flota promedio de 68 autobuses eléctricos se desarrolla en este capítulo, mismo que especifica las características, cálculos eléctricos y estudia los siguientes aspectos:

- Descripción de las condiciones actuales y la instalación eléctrica existente.
- Solución a la carga de autobuses eléctricos.
- Dimensionamiento de circuitos eléctricos.
- Especificación de los diagramas unifilares.
- Estudio económico.

Capítulo IV

En este capítulo se establece conclusiones, recomendaciones, factibilidad y posibilidad de instalación, de la infraestructura de los centros de carga que suministren energía a una flota con 68 autobuses eléctricos de servicio urbano en la ciudad de Cuenca.



CAPÍTULO II

RECARGA DE LOS AUTOBUSES ELÉCTRICOS.

2.1. AUTOBUSES ELÉCTRICOS.

Los autobuses eléctricos de transporte público se clasifican de acuerdo a la tecnología de propulsión en: i) autobuses híbridos y ii) autobuses eléctricos [21].

2.1.1. AUTOBUSES HÍBRIDOS

Los autobuses híbridos combinan la carga de un motor de combustión interna y un motor eléctrico, que pueden funcionar por turnos. La energía que se pierde durante el proceso de frenado es almacenada en forma química utilizando un banco de baterías o de manera mecánica empleando un volante de inercia, para posteriormente reutilizarla en la alimentación del motor eléctrico [59].

Los frenos regenerativos al disminuir la velocidad del autobús permiten transformar parte de la energía cinética en eléctrica, aprovechando el 30% de energía que se pierde en forma de calor, mientras que un autobús a gasolina aprovecha únicamente el 19% [21].

Existen dos tipos de sistemas híbridos compuestos de la siguiente manera:

Autobús híbrido en serie: El motor de combustión se conecta en serie al generador eléctrico y al motor eléctrico. La tracción se realiza únicamente con el motor eléctrico.

Autobús híbrido en paralelo: El motor de combustión y el motor eléctrico pueden efectuar la tracción de manera independiente o en conjunto.

En la *Figura 2.1* se expone los componentes de los autobuses híbridos.

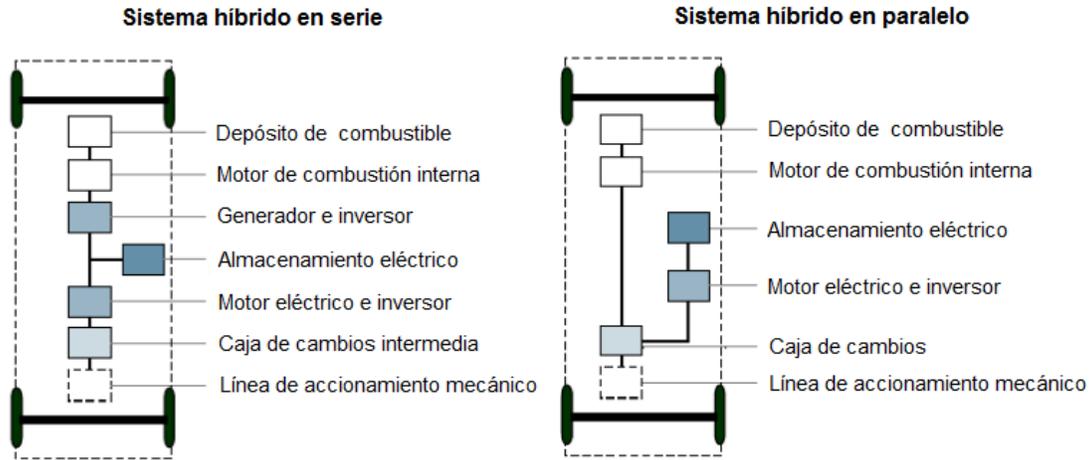


Figura 2.1. Sistemas de autobuses híbridos [52].

2.1.2. AUTOBUSES ELÉCTRICOS

Los autobuses eléctricos se caracterizan por su funcionamiento 100% eléctrico y su bajo impacto ambiental, debido a que pueden utilizar energías renovables durante su proceso de carga. Los autobuses eléctricos se clasifican en: i) autobuses eléctricos sin recarga y ii) autobuses eléctricos con recarga [21].

2.1.2.1. AUTOBUSES ELÉCTRICOS SIN RECARGA

El trolebús es un autobús eléctrico sin recarga, se abastece de la energía eléctrica de una catenaria compuesta por dos cables superiores conectados al techo del autobús, por medio de dos astas (trole doble), que son móviles en contacto con la catenaria e inmóviles en el contacto hacia el autobús. Los trolebuses no necesitan rieles como los tranvías, debido a que utilizan neumáticos de caucho; sin embargo, pueden ser guiados a través de un carril central incrustado en el pavimento [21].

El trolebús fue creado por el alemán Ernst Werner von Siemens, comenzó a funcionar en 1882 en Berlín. En Quito (Ecuador), el sistema de trolebús para transporte público fue inaugurado el 17 de diciembre de 1995 por el entonces alcalde Jamil Mahuad.



Actualmente el trolebús se usa en algunos países como China, India, Francia, Alemania, Estados Unidos, Argentina, etc., mientras que en algunas ciudades del primer mundo está en desuso debido al impacto visual negativo que ocasiona.

2.1.2.2. AUTOBUSES ELÉCTRICOS CON RECARGA

Los autobuses 100% eléctricos se abastecen de la energía eléctrica almacenada en un banco de baterías recargables, alojadas en el piso del vehículo, el objetivo es realizar un recorrido largo sin necesidad de recargas adicionales. El peso de las baterías reduce la capacidad para transportar pasajeros en el autobús, por lo cual se está probando un sistema de recarga ultra rápida en las paradas con la finalidad de disponer de una menor capacidad de almacenamiento y reducir el peso de la unidad [34].

Actualmente, los autobuses eléctricos se están perfeccionando en varios países como China, Estados Unidos, Francia, Alemania, etc., debido a que no requieren de cables aéreos para su abastecimiento y a su eficiencia en el consumo de energía.

En el mercado están disponibles varios modelos de autobuses eléctricos de acuerdo a su capacidad de transporte y a la autonomía de su banco de baterías. Algunas empresas como BYD, ABB, Irizar, se dedican a la fabricación y comercialización de autobuses 100% eléctricos.

El autobús más utilizado en las pruebas de esta investigación es el modelo K9 del fabricante BYD, el cual se muestra en la *Figura 2.2* y sus especificaciones técnicas se indican en el *Anexo I*.



Figura 2.2. Autobús 100% eléctrico modelo K9, fabricante BYD [31].

En la Figura 2.3 se indican los componentes de los autobuses eléctricos, tanto para el sistema de trolebuses y como de autobuses eléctricos con recarga, respectivamente.

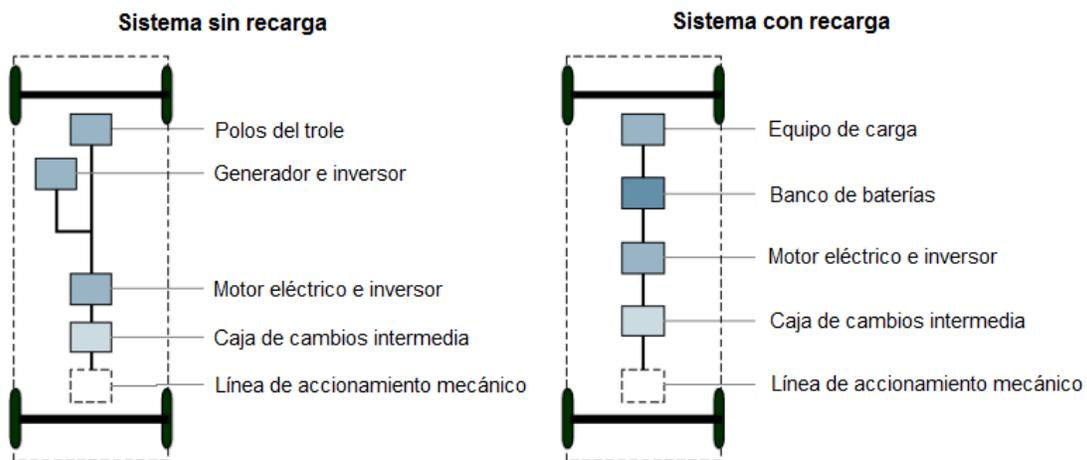


Figura 2.3. Sistemas de autobuses 100% eléctricos [52].

2.2. BATERÍAS.

La batería eléctrica es un dispositivo compuesto por una o más celdas electroquímicas, que transforman la energía química almacenada en energía eléctrica. Las celdas están



formadas por un electrodo positivo o cátodo y un electrodo negativo o ánodo sumergidos en un electrolito [63].

El costo de inversión, la autonomía y el tiempo de recarga del autobús eléctrico dependen principalmente del tipo de baterías que se utilizan.

2.2.1. FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento de una batería se basa en el proceso químico reversible denominado redox o reducción-oxidación, en el cual uno de los electrodos pierde electrones o se oxida y el otro gana electrones o se reduce. Los electrodos no se consumen ni se pierden, solo cambian su estado de oxidación y pueden regresar a su estado inicial en condiciones adecuadas. La recarga y descarga de las baterías se realiza mediante el proceso redox [47].

De acuerdo al funcionamiento las baterías se clasifican en:

- a. **Batería primaria:** El proceso de descarga es irreversible, no puede restaurarse por medios eléctricos, debe desecharse.
- b. **Batería secundaria:** Se puede recargar suministrándole energía eléctrica hasta restablecer su condición química original.

2.2.2. TIPOS DE BATERÍAS SECUNDARIAS

Las baterías secundarias son las que se aplican en los autobuses eléctricos, las tecnologías que actualmente se están usando corresponden a los siguientes tipos:

a) Batería de Níquel-hidruros metálicos

La batería Níquel-hidruros metálicos (NiMH) es una versión mejorada de la batería Níquel-Cadmio, en la que el material electrodico negativo es una aleación de metales y tierras raras que sustituyen al Cadmio [53].



Ventajas:

- Tiene una energía específica de 70-80 Wh/Kg, superando a las de Plomo-Ácido y a sus antecesoras las alcalinas de Níquel-Cadmio.
- Admite recargas rápidas con una duración de 1-3 horas.
- Menor impacto ambiental al sustituir el cadmio del ánodo por hidruro metálico.
- No requiere mantenimiento.

Desventajas:

- El precio es alto, puede ser cuatro veces superior a la de Plomo.
- Menores prestaciones electroquímicas a corriente elevada.
- No tiene un funcionamiento adecuado en climas fríos.

b) Batería de Ion-Litio

La batería de Ion-Litio se utiliza ampliamente y su funcionamiento está continuamente perfeccionándose. Actualmente, esta tecnología es la más avanzada, se aplica en: teléfonos móviles, ordenadores portátiles, equipo militar, aeronaves, vehículos espaciales, satélites y vehículos eléctricos o híbridos [5].

Ventajas:

- Poseen mayor voltaje nominal, con valores típicos entre 3 y 4 Voltios.
- Presentan mayores valores de energía específica, másica y volumétrica 80-200 Wh/kg, casi el doble de las de NiHM y más de cuatro veces de las Plomo-Ácido.
- Excelente recargabilidad.
- Bajo impacto ambiental.

Desventajas:

- Alto costo.
- Disminución de propiedades electroquímicas a temperaturas superiores a 50 °C.
- Una sobre descarga por debajo de 2 V, produce su rápida degradación.
- Una sobrecarga puede provocar su incendio.

La *Figura 2.4* describe los componentes de una celda y una batería de Ion-Litio.

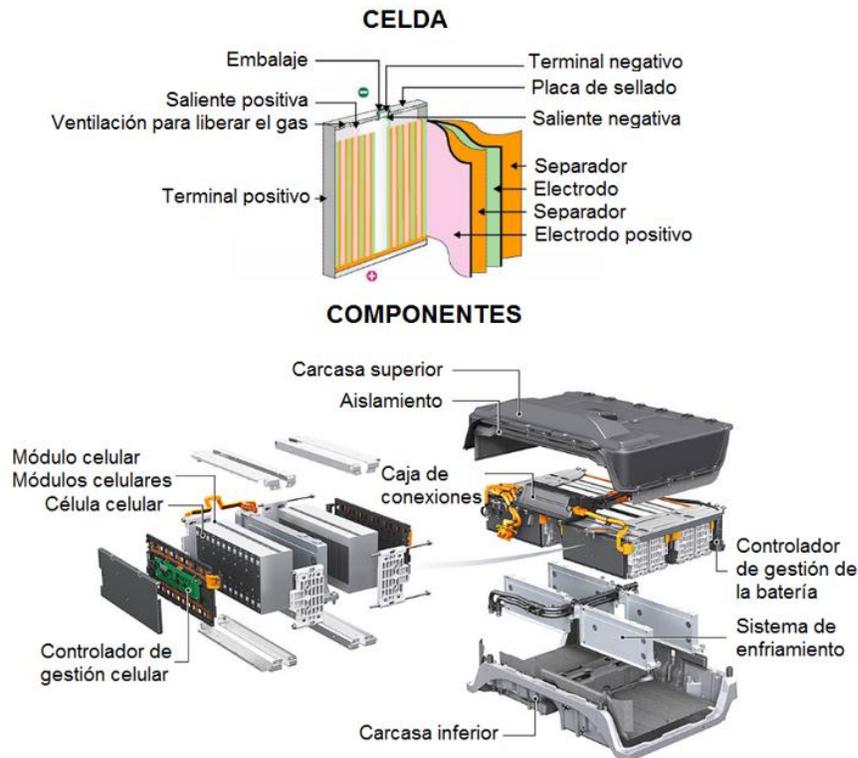


Figura 2.4. Celda y componentes de una batería de Ion-Litio [9].

La batería de Litio-ferrofosfato (LiFePO₄ o LFP) es la más recomendable para los autobuses eléctricos, debido a su capacidad de carga, descarga, ciclos de vida, tiempo de vida útil mayor a 10 años. La *Figura 2.5* corresponde a una batería de Litio-ferrofosfato para autobuses eléctricos, con capacidad de tensión 538 V y corriente 160 Ah, rango de tensión para operación 420 V - 613.2 V y potencia total 86 kWh.



Figura 2.5. Batería de Litio-ferrofosfato para autobuses eléctricos [1].

2.2.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS

La *Tabla 2.1* resume las características de las utilizadas en los autobuses eléctricos.

Tabla 2.1. Características de las baterías de Ion-litio y níquel [39].

Batería	Cátodo	Ánodo	Electrolito	Densidad de energía (Wh/kg)	Ciclos de vida	Precio por kWh (\$)	Fabricante
Ion-Litio	Litio, hierro, fosfato	Grafito	Carbonato de litio	85-105	200-2000	550-850	A123 Systems, BYD, Amperex, Lishen
	Litio, manganeso	Grafito	Carbonato de litio	140-180	800-2000	450-700	LG Chem, AESC, Samsung SDI
	Litio, titanato	LTO	Carbonato de litio	80-95	2000-25000	900-2200	ATL, Toshiba, Le-clanché, Microvast
	Litio, óxido de cobalto	Grafito	Polímero de litio	140-200	300-800	250-500	Samsung SDI, BYD, LG Chem, Panasonic, ATL, Lishen
	Litio, níquel, cobalto, aluminio	Grafito	Carbonato de litio	120-160	800-5000	240-380	Panasonic, Samsung SDI
	Litio, níquel, manganeso, cobalto	Grafito, silicio	Carbonato de litio	120-140	800-2000	550-750	Johnson Controls, Saft
NiCd	Hidróxido de níquel	Cadmio	Hidróxido de potasio	40-60	Más de 2000	-	AMCO SAFT
NiMH	Hidróxido de níquel	Metal hidruro	Hidróxido de potasio	70-80	500-2000	500-550	Ovonic battery, GS Yuasa



2.3. DEMANDA DEL AUTOBUS ELÉCTRICO.

La demanda es la carga promedio o potencia promedio en kilo vatios hora (kWh) requerida por el banco de baterías del autobús eléctrico en un intervalo de tiempo. Los centros de carga satisfacen la demanda del autobús eléctrico en las estaciones de carga.

La demanda energética para un autobús eléctrico depende de la velocidad, distancia de la ruta, número de pasajeros, temperatura, topografía, calidad de la vía y comportamiento del conductor. La *Figura 2.6* muestra la demanda para los autobuses eléctricos, el consumo es de 0,8 kWh/km en el mejor caso y 2.82 kWh/km en el peor [6].

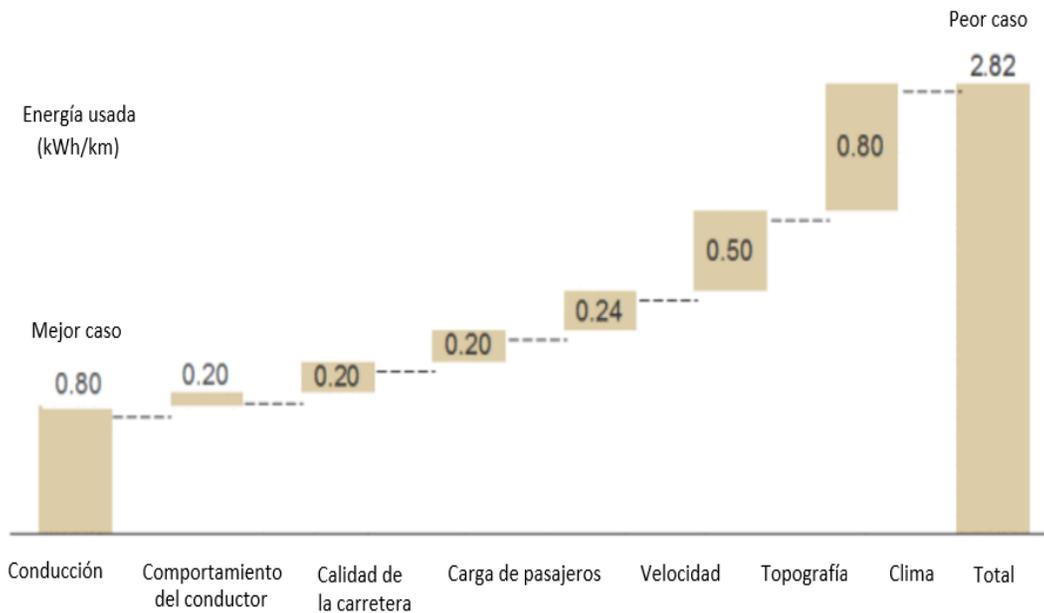


Figura 2.6. Demanda de los autobuses eléctricos [6].

A nivel mundial, Bloomberg New Energy Finance (BNEF) pronóstica que la evolución del transporte influiría en la demanda de electricidad y en el mercado petrolero. Los vehículos eléctricos y los autobuses eléctricos utilizarán 2.000 TWh en 2040, la demanda mundial de electricidad se incrementaría en un 6 % y el consumo de petróleo se reduciría en 7.3 millones de barriles por día [26].



En el plan maestro de electrificación 2013-2022 de Ecuador se considera la incorporación de 1000 vehículos de transporte eléctrico liviano entre el 2015 y 2016; sin embargo, esta meta no se ha podido lograr por la falta de gestión y principalmente debido a la falta de recursos económicos. En el transporte público se tiene dos proyectos el Metro en Quito y el tranvía en Cuenca. Estos proyectos disponen de estudios que justifican su incorporación en la proyección de la demanda en el corto plazo; sin embargo, no se considera la demanda de los autobuses eléctricos [50].

En la ciudad de Ambato (Ecuador) se ha realizado una estimación de la demanda para los autobuses eléctricos en el sistema de transporte urbano, considerando que todos los autobuses a diésel se reemplazan por autobuses eléctricos. El autobús eléctrico K9 de BYD tiene un consumo de aproximadamente 1,3 kWh por cada kilómetro recorrido de acuerdo a los datos del fabricante [11].

2.4. EFECTO DEL AUTOBÚS ELÉCTRICO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN.

El efecto del autobús eléctrico en la red de distribución depende de cómo se abastece su demanda, en que puntos de la red, cuando y en qué cantidad se requiere la potencia de abastecimiento. La red de distribución es la responsable de la frecuencia y la tensión que llega a las estaciones de carga. Los autobuses eléctricos necesitan transformar la energía eléctrica procedente de la red mediante la conversión de corriente alterna a continua y viceversa, utilizando equipos de electrónica de potencia rectificadores e inversores.

Los equipos electrónicos de potencia pueden introducir armónicos en el conductor eléctrico y ruido que afectan a las comunicaciones como las asociadas a los cables de potencia (PLC), por lo cual se utilizan filtros electrónicos para eliminarlos, mejorando la señal de tensión [28]. Los armónicos generados en el proceso de carga del autobús eléctrico son pequeños por lo que no provocan inconvenientes en la red de distribución. En Ecuador se utiliza la norma IEEE 519 para el control de armónicos en los sistemas eléctricos de potencia.



En el presente proyecto, la energía suministrada por la red de distribución a los centros de carga se calcula mediante la utilización de los datos concernientes a la movilidad de autobuses urbanos en la ciudad de Cuenca. La *Tabla 2.2* es un resumen obtenido del plan de movilidad y espacios públicos del GAD Municipal de Cuenca, la información corresponde al total de 475 autobuses del consorcio CONCUENCA, distribuidos en 29 líneas, 4 alimentadores y 2 troncales de transporte público. La frecuencia promedio día/min de 7 minutos es la diferencia de tiempo con la que salen los autobuses desde las paradas iniciales o finales.

Tabla 2.2. Datos del servicio de 475 autobuses en la ciudad de Cuenca [27].

Promedio Ruta (km)	Promedio Frecuencia (día/min)	Servicio horas/año	Viajes/día	Viajes/año	Promedio Velocidad (km/h)
30	7	158045	3670	1339397	19.98

La *Tabla 2.3* se obtienen a partir de la información de la *Tabla 2.2*, en la cual se indica que la estimación de la demanda para una flota promedio de 68 autobuses eléctricos en la ciudad de Cuenca es 20508.8 kWh/día y para un autobús 301.6 kWh/día. El consumo en kWh/día se obtiene multiplicando los kilómetros recorridos en la ruta por el consumo de 1,3 kWh / km correspondiente al autobús K9 de BYD.

La potencia requerida se suministraría mediante 6 centros de carga independientes de 500 kVA, cada uno de los cuales tendría la capacidad para abastecer de energía hasta 12 autobuses de la flota de 68. La carga se realizaría en aproximadamente 8 horas, fuera del horario de servicio de las empresas de transporte, el cual coincide con el horario de menor demanda en la red de distribución, horario comprendido de 10 pm a 6 am. En este horario a cada autobús se le suministraría 40 kWh.



Tabla 2.3. Proyección de la demanda para una flota de 68 autobuses eléctricos.

Servicio Flota horas/año	Ruta Unidad/día(km)	Ruta Flota/día (km)	Viajes Unidad/día	Viajes Flota/día	Consumo Unidad (kWh/día)	Consumo Flota (kWh/día)
22625.39	232	15762	7-8	525	301.6	20508.8

En Cuenca (Ecuador) la Centrosur no restringe la capacidad de potencia para la instalación de centros de carga y tampoco limita la ubicación de los mismos a ciertos sectores urbanos o rurales. Los centros de carga deben instalarse y ubicarse en las ciudades sostenibles o ecociudades considerando la capacidad de potencia y los lugares disponibles.

2.5. CIUDADES SOSTENIBLES.

Algunas ciudades del Ecuador como Quito, Guayaquil, Cuenca, Loja están desarrollando estrategias de planificación y construcción que les permitan convertirse en ciudades sostenibles. Las estrategias tienen por objetivo mejorar el sistema de transporte público, reducir la emisión de CO₂ en millones de toneladas mediante la incorporación de vehículos 100% eléctricos, debido a la gran cantidad de energía eléctrica que se podría producir y aprovechar según la información expuesta en la *Figura 2.7*.

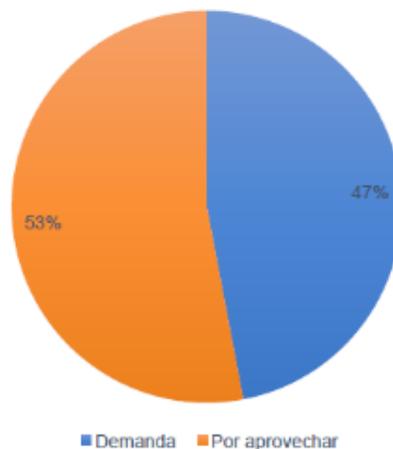


Figura 2.7. Capacidad instalada, producción eléctrica [58].



La ciudad de Loja ha realizado estudios para la incorporación de autobuses eléctricos, actualmente dispone de una flota de 51 taxis eléctricos, 35 de la empresa BYD y 16 de la empresa KIA los cuales se cargan en el hogar durante 4 horas y en 40 minutos en las estaciones de carga rápida. Estos taxis pueden recorrer hasta 200 Km a un costo de 3 dólares por consumo de energía eléctrica.

En la ciudad de Guayaquil existe una aceptación positiva por parte de los usuarios durante las pruebas del autobús eléctrico, los resultados se indican en la *Tabla 2.4*. La compañía de transporte Saucinc S.A. incorporará 20 unidades de autobuses 100% eléctricos, para su recarga se proyecta instalar 10 estaciones de carga en un centro de carga ubicado cerca del parque Samanes. El proceso de recarga de la flota de autobuses tendrá una duración de 7 horas.

Tabla 2.4. Resultados del autobús eléctrico [58].

Días de Prueba	• 90
# Pasajeros/ Día	• 500
Total Pasajeros	• 41,690
Km Recorridos	• 16,676
Diésel consumido	• 2,570 Galones
Kw Consumidos	• 20,939 Kw
GEI no Emitidos	• 25 Toneladas
Costo Diésel	• \$2,668.00
Costo Energía	• \$1,161.00

En la ciudad de Cuenca, la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte EMOV propone limitar el uso del automóvil, priorizar el transporte público, establecer las bases de un nuevo modelo de transporte público, plantear la posibilidad de alimentar el sistema de tranvía usando autobuses 100% eléctricos. La EMOV tiene el propósito de incentivar el uso de los vehículos eléctricos mediante la exoneración de tasas, revisión técnica vehicular, etc. Además, el MEER ha establecido el costo de 4 centavos por kWh para las electrolineras.

En Cuenca se han realizado varios estudios de movilidad, en la *Figura 2.8* se expone en que actividades se utilizan vehículos, para el trabajo se ocupa en un 33%.

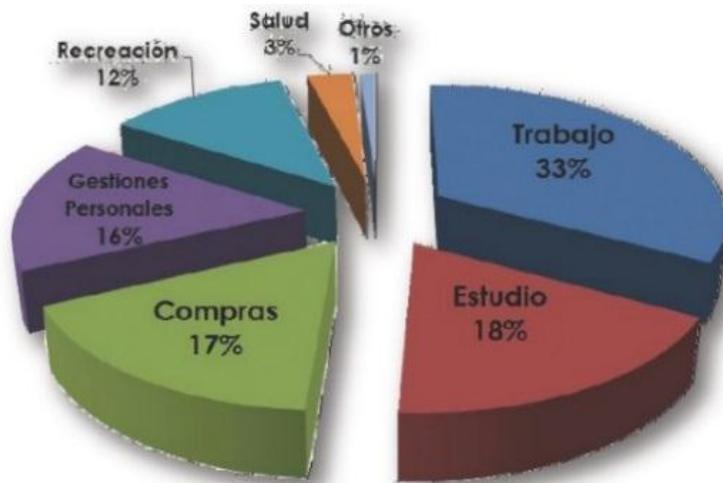


Figura 2.8. Uso de vehículos [10].

La *Tabla 2.5* especifica el tiempo necesario para cada desplazamiento indicado en la *Figura 2.9*, en el autobús se requiere de 16 – 30 minutos.

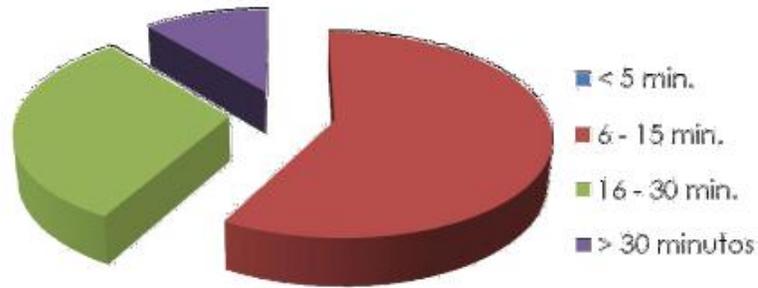
Tabla 2.5. Tiempo para el desplazamiento [10].

TIEMPOS DE DESPLAZAMIENTO SEGÚN MOTIVO					
TIEMPO	PIE	PRIVADO	BUS	TAXI	OTROS
MENOR A 5 MIN.	79%	0%	2%	6%	1%
DE 6 A 15 MIN.	13%	58%	29%	57%	26%
DE 16 A 30 MIN.	7%	31%	50%	36%	44%
MAYOR A 30 MIN.	1%	11%	19%	2%	28%
NUMERO DE VIAJES	7721	562	1797	239	141

DESPLAZAMIENTOS A PIE



DESPLAZAMIENTOS TRANSPORTE PRIVADO



DESPLAZAMIENTOS EN BUS

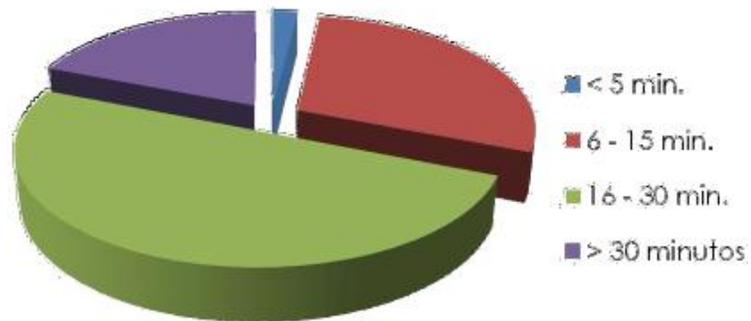


Figura 2.9. Tiempos de desplazamiento [10].

En la *Figura 2.10* se explica cómo se distribuye la movilidad en la ciudad de Cuenca. En movilidad, el transporte motorizado es el más utilizado con un porcentaje del 69 %, dentro del cual el autobús se ocupa en un 31 %.

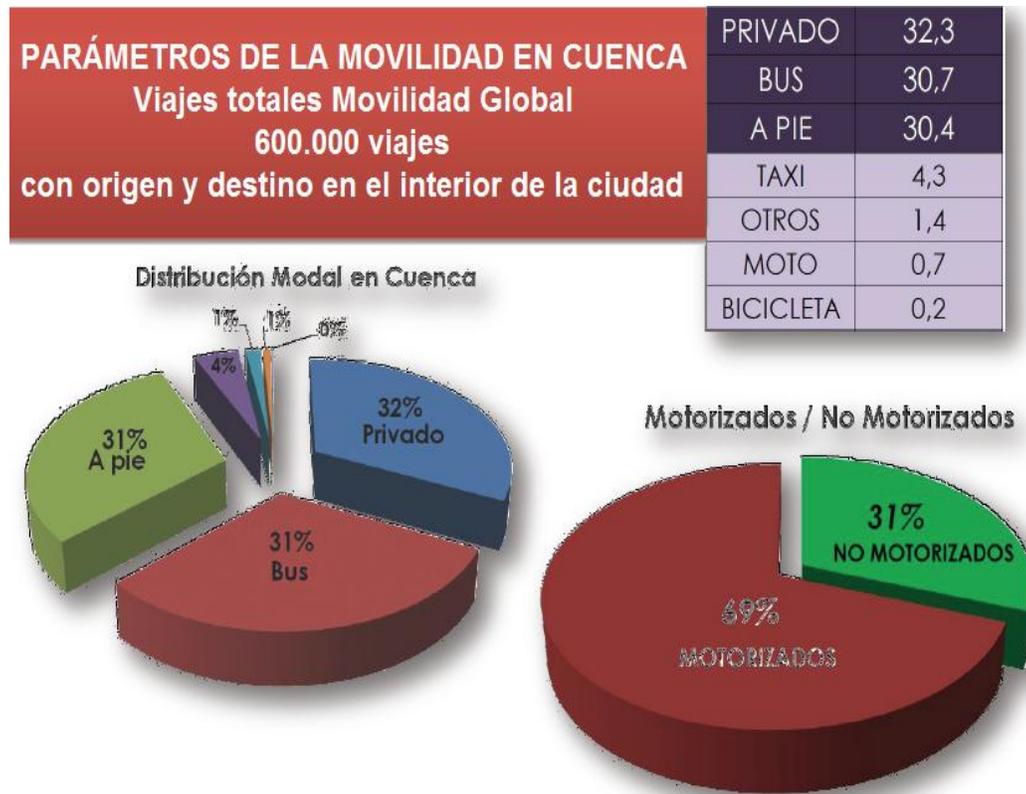


Figura 2.10. Parámetros de movilidad [10].

En el laboratorio de Microred de la Universidad de Cuenca se ha realizado estudios que certifican el funcionamiento del autobús 100% eléctrico K9 fabricado por la empresa BYD. Las pruebas se realizaron después de 6 recorridos diarios de 15.9 Km en cada ruta especificada en la *Figura 2.11*, mediante un odómetro y un medidor de parámetros de calidad de energía fluke 435 serie II, estas corresponden al estado de carga del autobús en la cual se verifica la potencia activa, potencia reactiva, corriente, tensión, armónicos, etc.

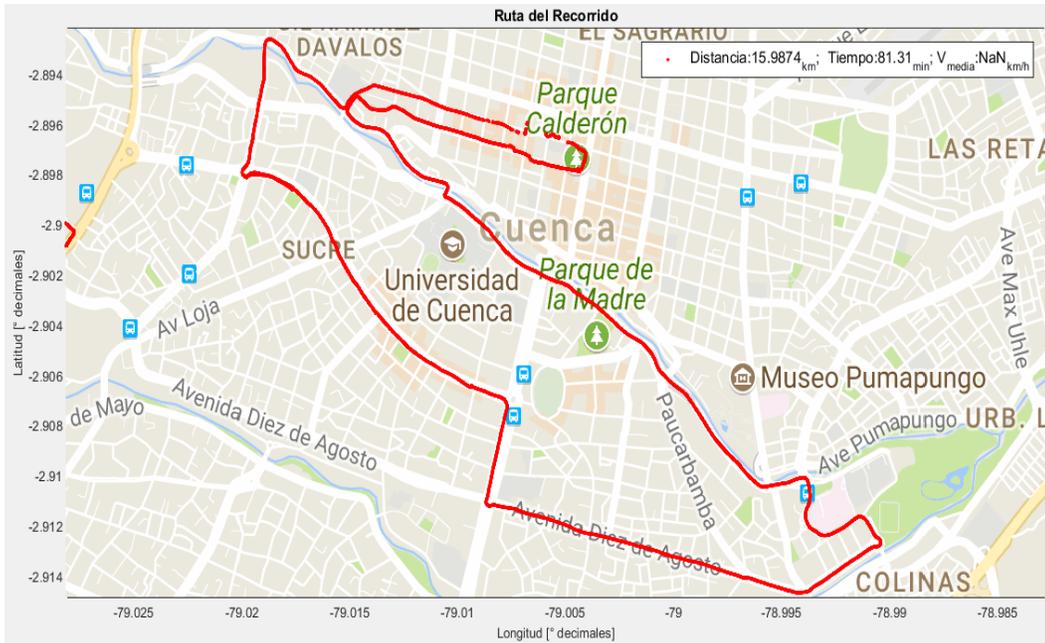


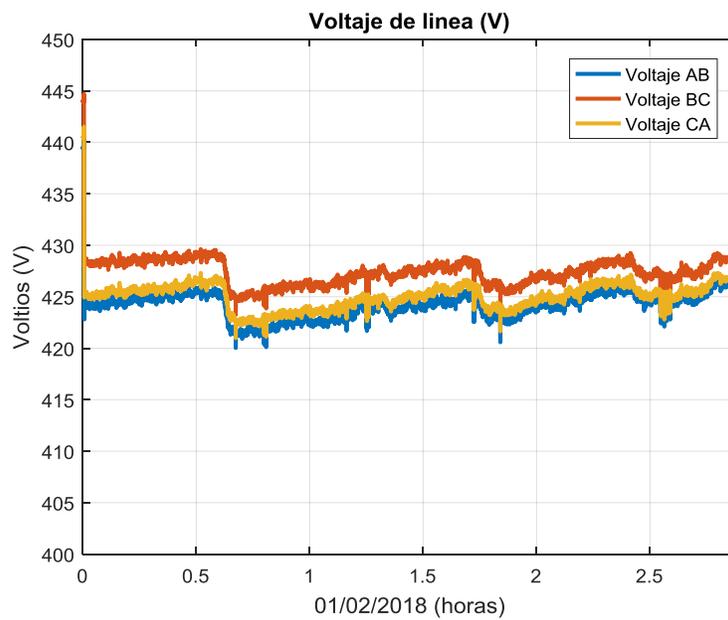
Figura 2.11. Ruta del autobús eléctrico en la ciudad de Cuenca [31].

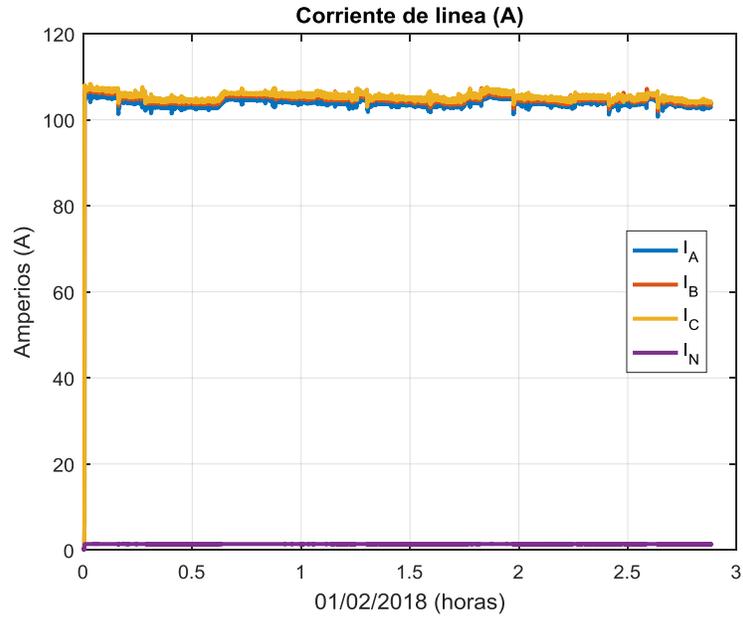
La carga del autobús se realizó en una estación de carga ubicada en el laboratorio la cual empleó en su infraestructura un transformador seco trifásico a 4 hilos con capacidad de 100 kVA, como se observa en la *Figura 2.12*. En la infraestructura del centro de carga el elemento más importante es el comportamiento de la potencia reactiva, debido al impacto que puede producir en las redes eléctricas.



Figura 2.12. Carga del autobús eléctrico en el laboratorio de Microred de la Universidad de Cuenca.

En la Figura 2.13 se indica los resultados obtenidos mediante odómetro y estado de carga en la batería (SOC) del autobús, con una tasa de 3 segundos.

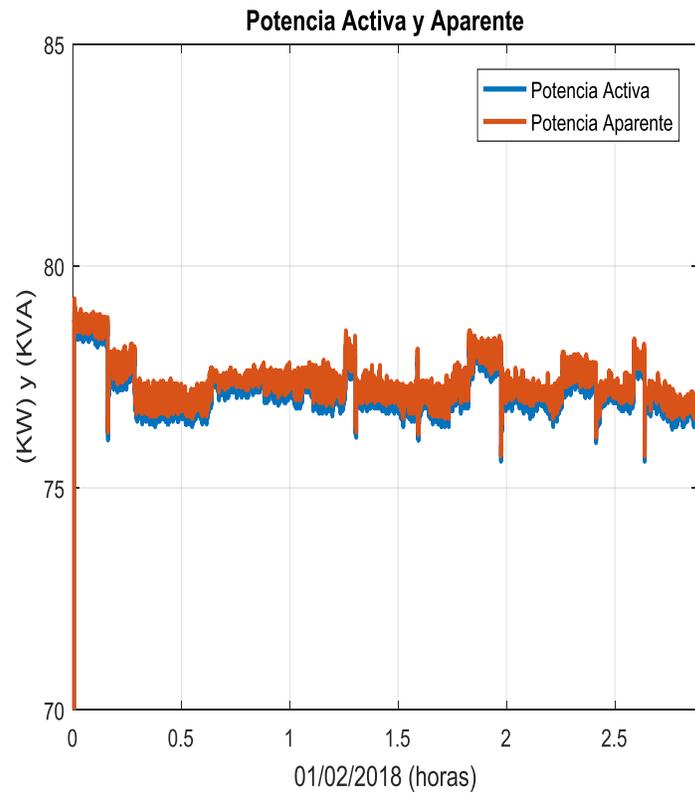
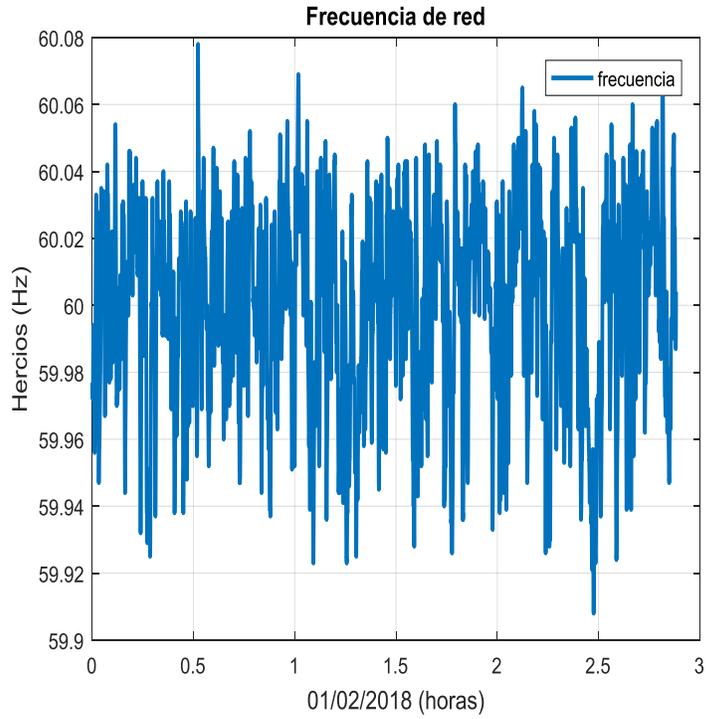




Día	Odómetro (Km)	Hora de Inicio de carga	Hora de fin de carga	Tiempo de carga	SOC (Inicial) Según Indicador Tablero %	SOC (Final) Según Indicador Tablero %	Energía entregada (kWh)
01/02/2018	3422	19:44:16	22:37:54	2:52:59	32.4	100	221.68

Figura 2.13. Estado de carga de la batería del autobús eléctrico [31].

En el proceso de carga del autobús su potencia reactiva es muy pequeña en comparación con la potencia activa, el factor de potencia o calidad de energía es elevada, en base a la tensión de prueba la potencia de consumo promedio es de 77 kWh, la potencia activa o aparente es de 78 kVA, la corriente se aproxima a la unidad, lo cual se grafica en la Figura 2.14.



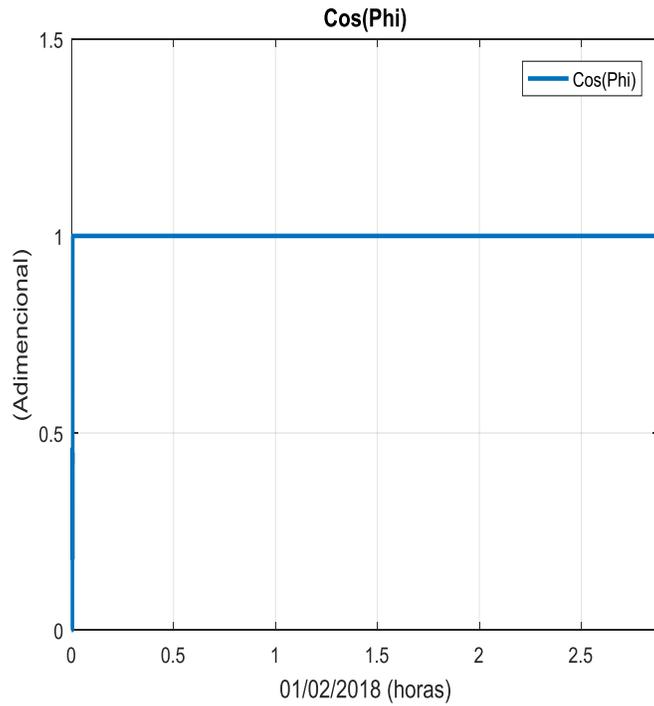
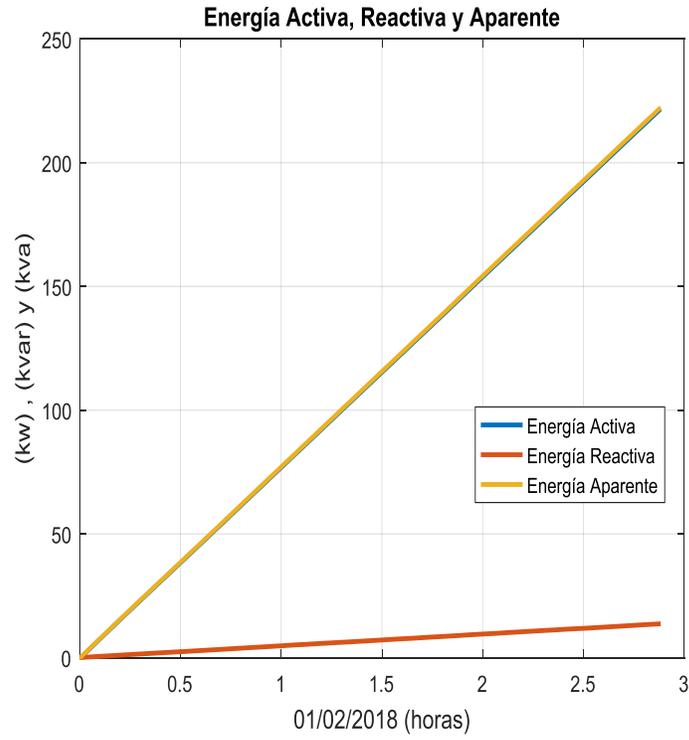
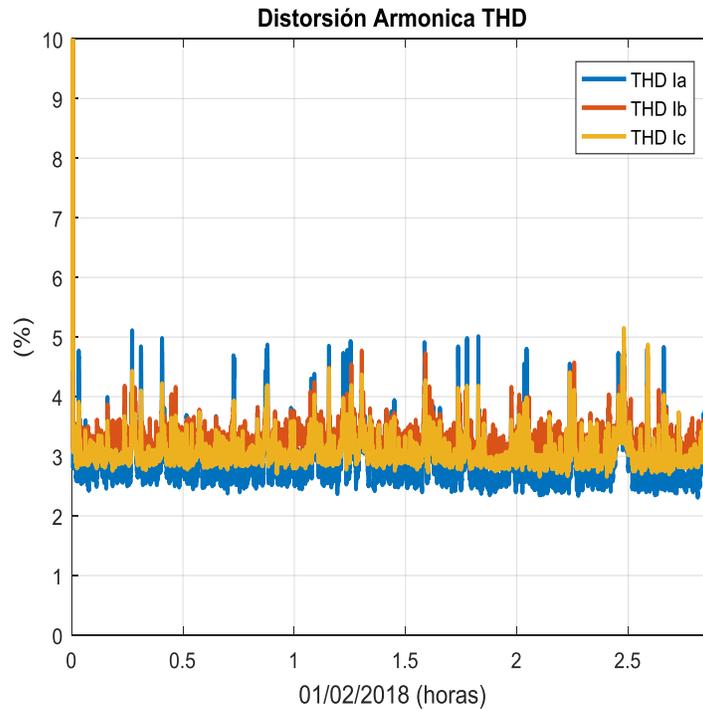
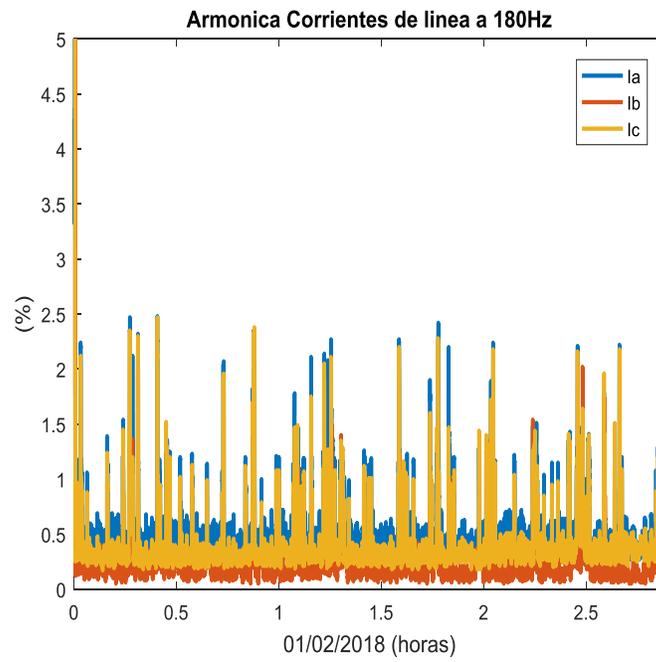
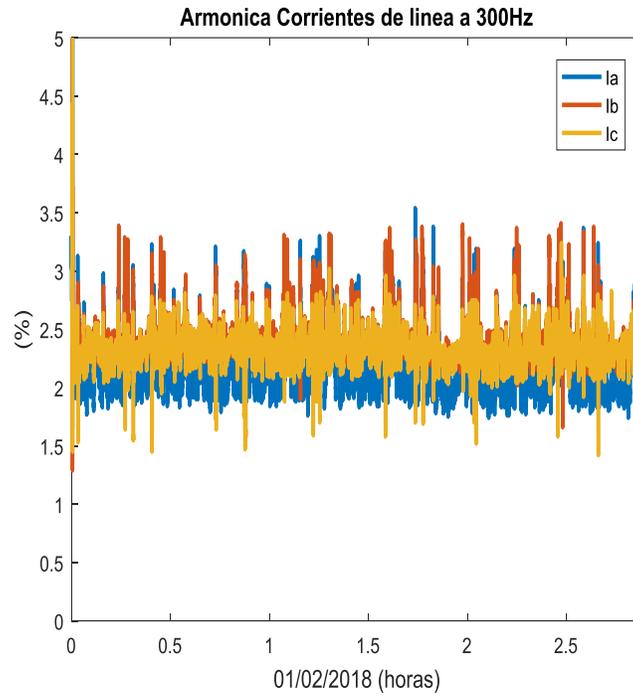


Figura 2.14. Comportamiento de la carga [31].



El efecto del autobús eléctrico en las redes se debe a la calidad de energía que es la distorsión armónica, la cual es inferior al 5% y cada componente armónica es inferior al 4% de la magnitud de la corriente nominal en operación, hasta el onceavo armónico la corriente es pequeña y de tipo senoidal, lo cual se observa en las *Figura 2.15 y 2.16*. La red eléctrica entrega al sistema de carga del autobús una corriente con distorsión armónica menor al 3%.





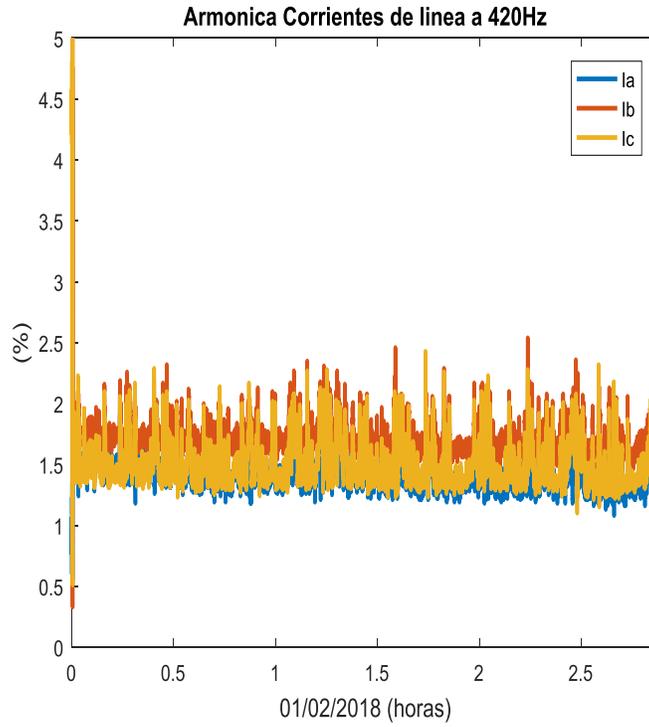
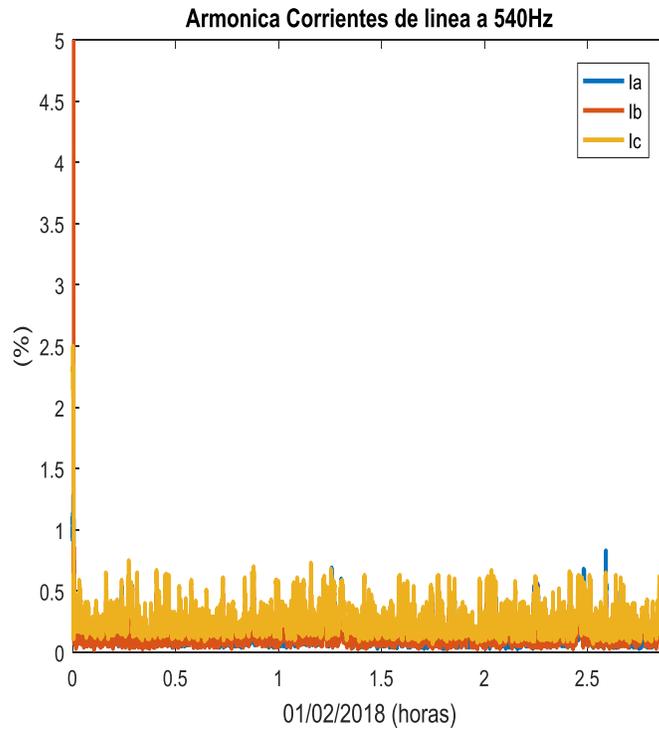


Figura 2.15. Calidad de energía [31].



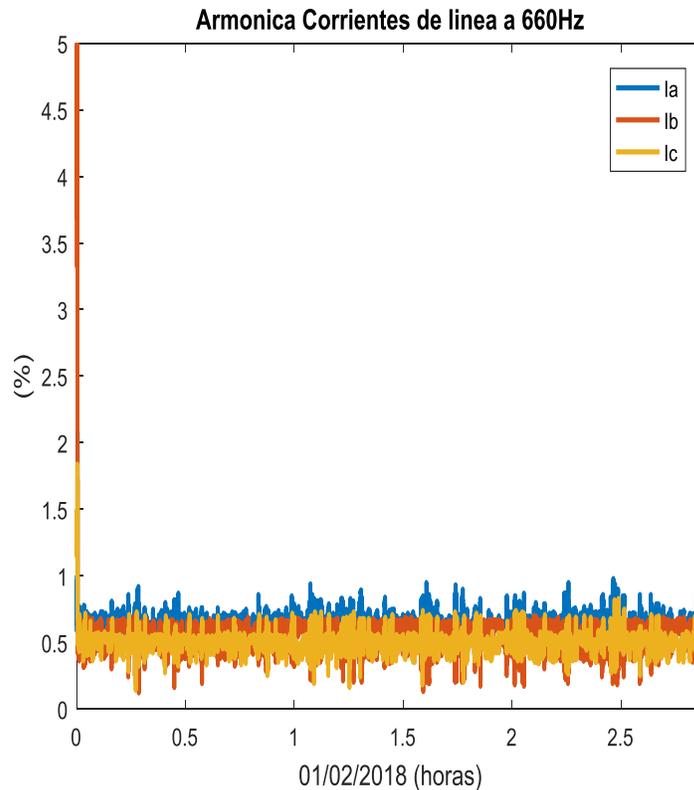


Figura 2.16. Calidad de energía en 9no y 11vo armónico [31].

La capacidad de almacenamiento nominal del autobús eléctrico es 289 kWh, en las pruebas se utilizó una carga de 276.5 kWh, una carga de pasajeros de forma permanente del 8%, con un factor de seguridad se recorrió algo más de 300 Km.

Las restricciones técnicas de la unidad de transporte indican que la autonomía nominal es mayor a 250 Km, lo cual se demostró en el laboratorio en base al estudio de las variables eléctricas. Las *Tablas 2.6 y 2.7* muestran un resumen de la eficiencia y la autonomía del autobús eléctrico durante las pruebas.



Tabla 2.6. Resultados de las pruebas del autobús eléctrico [31].

Día	Odómetro (Km)	Hora de Inicio de carga	Hora de fin de carga	Tiempo de carga	SOC (Inicial) Según Indicador Tablero %	SOC (Final) Según Indicador Tablero %	Energía entregada (kWh)
01/02/2018	3422	19:44:16	22:37:54	2:52:59	32.4	100	221.68
04/02/2018	3614	11:03:00	13:40:55	2:37:55	38.6	100	190.18
06/02/2018	3808	21:37:44	23:40:38	2:02:44	48.1	100	156.66
10/02/2018	4114	17:05:47	20:48:29	3:42:42	7.8	100	289.40
16/02/2018	4363	20:23:06	23:24:12	3:01:06	23.6	100	235.17
20/02/2014	4642	19:41:43	22:34:18	2:52:35	26.8	100	225.25
23/02/2018	4921	19:00:32	21:55:41	2:55:09	26.0	100	228.97
27/02/2018	5138	21:45:13	00:02:48	2:17:35	43	100	178.25
01/03/2018	5257	17:10:11	20:00:41	02:20:30	67.3	100	110.24

Tabla 2.7. Capacidad de almacenamiento del autobús eléctrico [30].

Distancia Recorrida (km)	Energía Consumida (Energía entregada hasta consumir el 100% de carga según tablero bus) (kWh)	Porcentaje de descarga (%)	Indicador km/kWh
192	190.18	61.4	1000.9
194	156.66	51.9	1239.6
306	289.40	92.2	1057.3
249	235.17	76.4	1058.8
279	225.25	73.2	1237.2
297	228.97	74.0	1297.1
217	178.25	57	1217.3
119	110.24	32.7	1079

El autobús consume en promedio 1016.05 km/kWh, dispone de una capacidad de almacenamiento nominal de 276.5 kWh, autonomía nominal 250km. Las pruebas en el laboratorio no se realizaron a plena carga, el transporte de pasajeros fue de entre 25% – 45% de la capacidad del autobús. La unidad de transporte tiene un sistema de frenado regenerativo que no afecta su eficiencia ni autonomía en inercia y en movimiento. La velocidad promedio durante el recorrido fue de 18 – 20 km/h.

Los autobuses eléctricos podrían alimentar el sistema del tranvía en la ciudad de Cuenca de acuerdo a las rutas, paradas y tiempo de recorrido tomando como base la información proporcionada por la *Figura 2.17* y la *Tabla 2.8*. En Cuenca se planea instalar una flota de 32 autobuses 100% eléctricos para el transporte público.

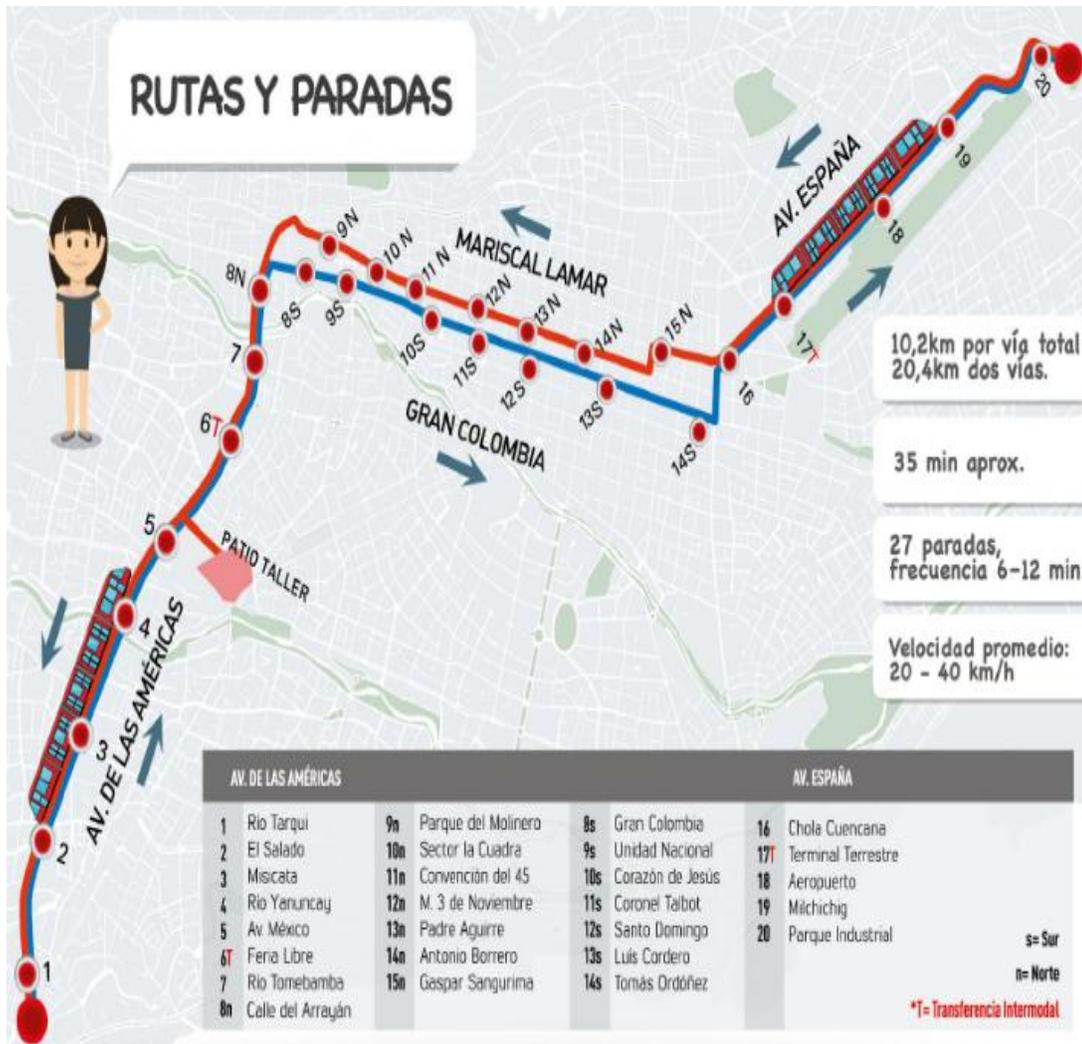


Figura 2.17. Rutas y paradas del tranvía en Cuenca [10].



Tabla 2.8. Ubicación de las paradas iniciales-finales de los autobuses [27].

LÍNEA DE AUTOBÚS	PARADA INICIAL-FINAL
Línea 2	TORORACOCHA-ARENAL ALTO-TOTORACOCHA
Línea 3	EL LIRIO-EUCALIPTOS-EL LIRIO
Línea 5	LOS ANDES-EL SALADO-LOS ANDES
Línea 6	MAYANCELA-TURI-MAYANCELA
Línea 7	LOS TRIGALES-MALL DEL RÍO-LOS TRIGALES
Línea 8	LOS TRIGALES-SAN JOAQUÍN-LOS TRIGALES
Línea 10	PALUNCAY-LA FLORIDA-PALUNCAY
Línea 12	MINAS-QUINTA CHICA-MINAS
Línea 13	UCUBAMBA-MALL DEL RÍO-UCUBAMBA
Línea 14	EL VALLE-FERIA LIBRE-EL VALLE
Línea 15	BAGUANCHI-FERIA LIBRE-BAGUANCHI
Línea 16	H DEL RÍO-SAN PEDRO-H DEL RÍO
Línea 17	PUNTA CORRAL-TODOS SANTOS-PUNTA CORAL
Línea 18	ZONA FRANCA-AEROPUERTO-ZONA FRANCA
Línea 19	VISORREY-TENIS CLUB-VISORREY
Línea 20	RACAR-REDONDEL DE LA G. SUAREZ-RACAR
Línea 22	SALESIANOS-GAPAL, UDA-SALESIANOS
Línea 24	COCHAPAMBA-MIRAFLORES-COCHAPAMBA
Línea 25	CDLA. JAÍME ROLDOS-MERCADO 27 DE FEBRERO -CDLA. JAÍME ROLDOS
Línea 26	CHECA- MERCADO 27 DE FEBRERO-CHECA
Línea 27	HUIZHIL-SINICAY-HUIZHIL
Línea 28	NARANCA-CAPULISPAMBA-NARANCA
Línea 29	BALZAY-H. DEL LIRIO-BALZAY
ALIMENTADORA 101	YANATURO-TERMINAL TERRESTRE
ALIMENTADORA 102	EUCALIPTOS TERMINAL-TERRESTRE
ALIMENTADORA 201	FERIA LIBRE-BALZAY-FERIA LIBRE
ALIMENTADORA 203	TERMINAL TERRESTRE- EUCALIPTOS- TERMINAL TERRESTRE
TRONCAL NORTE	RICAUARTE-TERMINAL TERRESTRE-FERIA LIBRE
TRONCAL SUR	BAÑOS-FERIA LIBRE-TERMINAL TERRESTRE



2.6. CENTRO DE CARGA.

El centro de carga es el conjunto de equipos necesarios para conectar el autobús eléctrico a una red de suministro de energía eléctrica en baja tensión. Los centros de carga se clasifican en sistemas de alimentación: SAVE (puntos de carga inteligentes que se comunican directamente con un sistema de gestión) o configuraciones donde se encuentran varios centros de carga con un sistema de control que se comunica con el sistema de gestión [48].

Los centros de carga se pueden asociar con otros dispositivos para cumplir con las funciones de: gestión de cargas, cobros, software de gestión y servicios Web.

El centro de carga se compone de:

- Una o varias tomas de corriente que suministran energía eléctrica a los autobuses.
- Indicadores luminosos de señalización: punto de carga OK, carga aplazada, etc.
- Botones de inicio y detección de carga inmediatos.
- Regulador electrónico de carga del autobús.

Los centros de carga se ubican en las paradas y en los estacionamientos de las flotas de autobuses. En la *Figura 2.18* se muestra la fotografía de un centro de carga para una flota de autobuses eléctricos en un garaje de Waterloo (Bélgica).



Figura 2.18. Centro de carga para una flota de autobuses eléctricos [45].

2.7. CLASIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CARGA.

Las estaciones de carga se ubican en los centros de carga y se clasifican de acuerdo a:

- Tipo de carga.
- Modo de carga.

2.7.1. TIPO DE CARGA

Los sistemas de carga para los autobuses eléctricos en general se clasifican en dos tipos de acuerdo a la potencia y el tiempo de carga:

Carga rápida

Actualmente, los autobuses 100% eléctricos se cargan utilizando el método de carga rápida, mediante una toma de corriente alterna a una tensión de 440 V y 60 Hz, con una



potencia de carga de 40 kWx2, en un tiempo de 4 – 5 horas. El proceso de carga resulta económico si se realiza durante la noche en un garaje para flotas.

Carga ultra-rápida

El sistema de carga ultra-rápida se realiza mediante pantógrafos o cargadores de inducción. Este sistema está diseñado para cargar los autobuses 100% eléctricos en corriente continua a 500 VDC y en corriente alterna a 400 VAC, en un tiempo de 5 a 10 minutos. Sin embargo, el sistema es poco usual debido a que se encuentra en una fase experimental [20].

En la *Tabla 2.9* se resume las especificaciones de los cuatro tipos de carga.

Tabla 2.9. Características de los tipos de carga.

Dato	Rápida	Ultra - rápida
Potencia	40 – 80 kWh	400 kW
Carga	4 – 5 horas (100%)	5 – 10 min (80%)

2.7.2. MODO DE CARGA

El modo de carga depende de la comunicación entre el autobús eléctrico y la infraestructura de carga. La red de distribución se conecta con el autobús eléctrico utilizando un cargador externo y un cable conector. El cargador externo requiere un enlace de comunicación que informe del estado de la batería y la carga [25].

2.8. INFRAESTRUCTURA DEL CENTRO DE CARGA.

La infraestructura de carga permite acceder al suministro de energía eléctrica en los centros de carga a un mínimo costo. Está infraestructura debe adaptarse a los



requerimientos de conexión, potencia, tensión, corriente, etc. La infraestructura está compuesta de:

- Cargadores
- Conectores
- Elementos de la instalación

2.8.1. CARGADORES

El cargador es un equipo conectado a la salida de baja tensión en un centro de carga, el cual suministra energía al autobús mediante un cable conector, puede tener comunicación de control de carga. El cargador se instala junto a la calzada o en un garaje.

Los cargadores se dividen en cargadores a bordo y fuera de bordo con potencia unidireccional o bidireccional. Los cargadores unidireccionales solo se pueden usar para cargar la batería, mientras que los cargadores bidireccionales consiguen devolver la energía a la red.

Los cargadores a bordo permiten al usuario cargar la batería en cualquier lugar donde se encuentre una toma de corriente adecuada, están limitados en la potencia debido al requisito de bajo peso y espacio, en el costo debido a la necesidad de invertir en un cargador para cada autobús [46].

Los cargadores unidireccionales utilizados en los centros de carga pueden ser del tipo:

Pie de poste

El cargador pie de poste es un equipo sencillo y tradicional, utilizado en las cargas, con el cual el operario conecta el cargador con una manguera tipo 2 al autobús, de forma similar a una gasolinera. Estos equipos se utilizan en los estacionamientos de las flotas de autobuses [44]. En la *Figura 2.19.* se indica el modelo del cargador tipo pie de poste de CA marca BYD con un módulo DTU.



Figura 2.19. Cargador tipo pie de poste [12].

Pantógrafo

El cargador tipo pantógrafo está situado en un pilar de cinco metros de altura, similar a una farola, se ubica en las paradas. La carga se realiza al desplegarse el pantógrafo desde o hacia el autobús [43]. En la *Figura 2.20* se muestra el sistema de carga mediante pantógrafo.



Figura 2.20. Cargador tipo pantógrafo [3].

De inducción

Los cargadores de inducción realizan la carga de forma inalámbrica mediante un sistema de dos bobinas magnéticas, colocadas una en la parte inferior del autobús y otra en la vía. La carga se realiza solo cuando el sistema de control reconoce que el autobús con bobina inductiva se ha estacionado encima [23]. En la *Figura 2.21.* se indica un cargador de inducción.



Figura 2.21. Cargador de inducción [4].

2.8.2. CONECTORES

Los conectores están disponibles en varios modelos y se facilitan por el fabricante del autobús eléctrico. A continuación, se indican los más comunes:

Conector Tipo 4 (CHAdeMO)

El conector Tipo 4 o CHAdeMO está diseñado para suministrar cargas rápidas en corriente continua, posee diez bornes, toma de tierra y comunicación con la red. CHAdeMO es el acrónimo de “CHArge de MOve”, que se traduce como “carga para moverse” [17]. Este conector está entrando en desuso, fue desarrollado por los fabricantes japoneses: Mitsubishi, Nissan, Toyota, Fuji y Subaru [18]. En la *Figura 2.22* se observa un ejemplo del conector Tipo 4.



Figura 2.22. Conector CHAdeMO o Tipo 4 [62].

Conector CCS (Combo)

CCS o Combo es un conector para corriente continua, compuesto por un conector de corriente alterna Tipo 2 y un conector de corriente continua con dos contactos. El conector Combo permite cargar el autobús a través de una sola toma. En Europa fabricantes como

Audi, BMW, Daimler, Porsche y Volkswagen están incorporando este tipo de conector [19]. En la *Figura 2.23* se muestra un ejemplo del conector CCS o Combo.



Figura 2.23. Conector CCS o Combo [49].

En la *Tabla 2.10* se resume las especificaciones de los 2 tipos de conectores para autobuses eléctricos.

Tabla 2.10. Características de los conectores.

Tipo de conector	Corriente máxima [A]	Tensión máxima [V]	Potencia máxima [kW]	Norma	Carga
Tipo 4 ó CHAdeMO 	200 Acc	500 Vcc	50	IEC 62196-3	Ultra-rápida
CCS ó Combo 	63 Aca trifásica 200 Acc	400 Vca trifásica 500 Vcc	50	IEC 62196-3	Rápida

2.8.3. ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

La *Figura 2.24* presenta el esquema de instalaciones eléctricas de un centro de carga para una flota de vehículos eléctricos. Este esquema, con sus principales elementos, deja

Wilder Lenin Alvear Muevecela



abierto el uso de los circuitos del cuadro para múltiples usos. En el esquema de las instalaciones se debe considerar los siguientes aspectos:

- a) La instalación de sistemas para orientar los cables desde los contadores y por las vías principales del garaje o estacionamiento con el objetivo de alimentar a los cargadores en las áreas de estacionamiento individual, mediante ramales del sistema de orientación de cables con longitud menor a 20 m.
- b) La centralización de contadores se dimensiona de acuerdo al esquema eléctrico elegido para el centro de carga. Un módulo de reserva es lo mínimo que se instala para ubicar un contador principal y los dispositivos de protección contra sobrecargas asociadas al contador, con fusibles o interruptor automático.

El esquema de instalaciones eléctricas para un centro de carga se compone de los siguientes elementos:

Contador principal de servicios generales: Se ubica en la centralización de contadores.

Dispositivos generales de mando y protección (DGMP): Se ubican en el cuadro de mando, relacionados a las áreas de estacionamiento, deben disponer de sistemas de cierre con el propósito de evitar manipulaciones indebidas.

Interruptor general automático (IGA): En un centro de carga cada circuito de carga parte de un interruptor automático para su protección contra sobrecargas y cortocircuitos. Aguas arriba de cada interruptor automático y en el mismo cuadro se instala un IGA para la protección general de todos los circuitos de carga.

Circuitos interiores de la instalación para carga del vehículo eléctrico (VE), o para otros usos: La potencia instalada en estos circuitos y la previsión de cargas se puede deducir, debido a que el sistema controlará la potencia para la carga simultánea en todos los puntos.

Contador secundario: Tienen la capacidad de medir energía activa y son de clase A o superior, es opcional, se instala cuando es necesario registrar el consumo individual de cada vehículo.

Circuito o circuitos adicionales de carga del VE, individuales o colectivos: Se ajustará la potencia instalada a uno de los valores de la *Tabla 2.11*. Sin embargo, el proyectista podrá justificar una potencia distinta, dimensionándose el circuito y sus protecciones de acuerdo a la potencia proyectada [35].

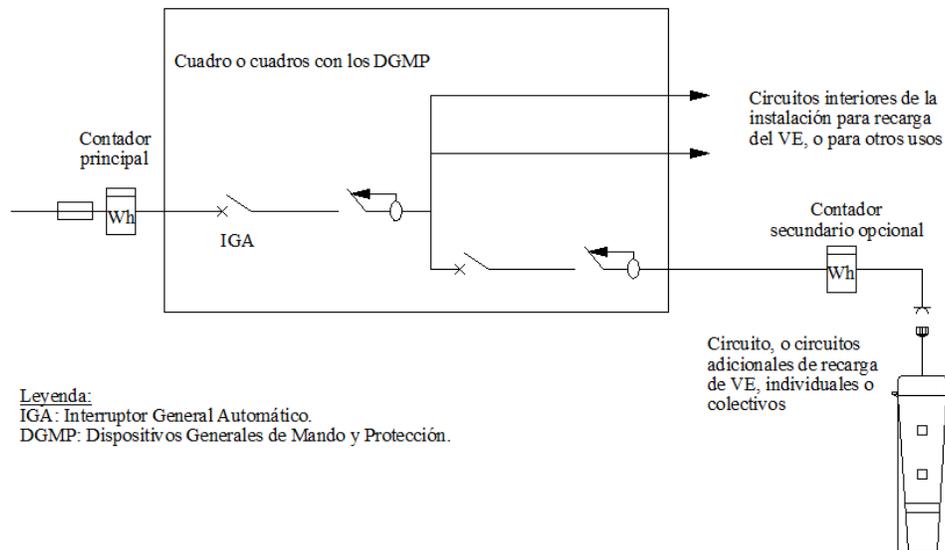


Figura 2.24. Esquema de instalaciones para flotas de vehículos [2].

Tabla 2.11. Potencias instaladas normalizadas de los circuitos de alimentación para los centros de carga [35].

U nominal	Interruptor automático de protección en origen circuito recarga	Potencia instalada	Nº máximo de estaciones de carga por circuito
230/400 V	16 A	11085 W	3
230/400 V	32 A	22170 W	6
230/400 V	50 A	34641 W	9
230/400 V	63 A	43647 W	12

2.9. DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA DE CARGA.

La infraestructura de un centro de carga se diseña en el presente proyecto técnico con el objetivo de gestionar eficientemente todas las condiciones o restricciones de la carga en el garaje de una flota de autobuses eléctricos. En el diseño se considera: el número de autobuses que se requiere cargar, la potencia disponible para la carga, tiempo de carga, el estado de carga de los autobuses al ingresar en el garaje, entre otros aspectos.

La *Figura 2.25* sintetiza las diferentes posibilidades de diseño de la infraestructura de un centro de carga para autobuses 100% eléctricos con cargadores tipo pie de poste.

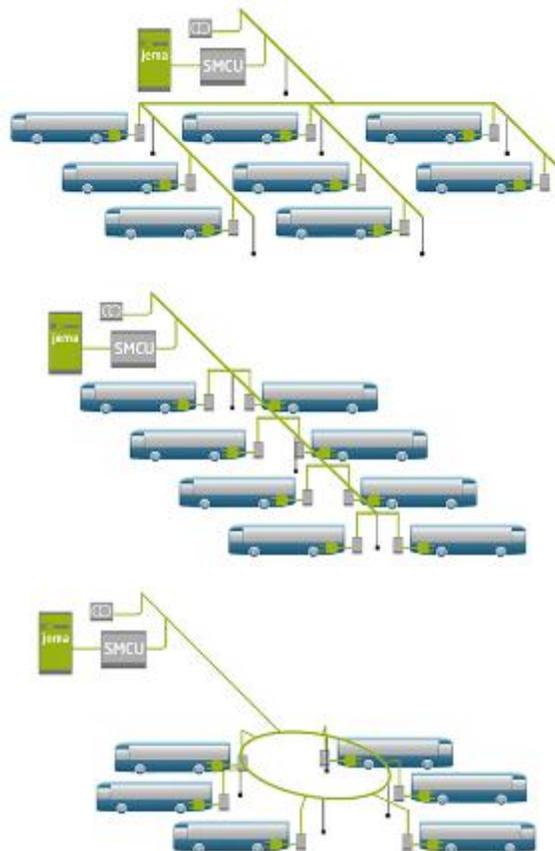


Figura 2.25. Centro de carga para autobuses 100% eléctricos [22].



En el siguiente capítulo, donde se desarrolla la memoria descriptiva de la instalación eléctrica, se establece el diseño más adecuado para la infraestructura del centro de carga propuesto.

CAPÍTULO III

MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA.

3.1. ANTECEDENTES.

Actualmente, en Ecuador no se dispone de centros de carga para abastecer a flotas de autobuses 100% eléctricos. Sin embargo, en las ciudades de Quito, Guayaquil, Cuenca, Loja se han realizado estudios de laboratorio utilizando centros de carga provisionales con una sola estación de carga con resultados favorables.

En la presente memoria se realiza un análisis de las condiciones existentes y los elementos que componen la instalación eléctrica de la infraestructura de carga para una flota promedio de 68 autobuses eléctricos en la ciudad de Cuenca, perteneciente al consorcio CONCUENCA. En la propuesta se han considerado las siguientes características:

- Previsión de cargas
- Línea de distribución en Media Tensión (MT)
- Centro de seccionamiento
- Centro de transformación
- Línea de distribución en Baja Tensión (BT)
- Puestas a tierra

Así mismo, al final del capítulo se detalla el presupuesto de la instalación, con la finalidad que la misma pueda ser implementada en un futuro mediato.



3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.

En el presente proyecto, el diseño de la instalación eléctrica de la infraestructura de carga para autobuses eléctricos es una propuesta que puede modificarse de acuerdo a las futuras necesidades de abastecimiento de energía de las empresas que conforman el consorcio CONCUENCA.

En primer lugar, la potencia requerida para la instalación eléctrica de la infraestructura de carga se prevé elevada aproximadamente 20508.8 kWh/día de acuerdo a la *Tabla 2.3*. Esta potencia se obtiene multiplicando los 232 km/día recorridos por un autobús en la ruta por el consumo de 1,3 kWh/km del autobús K9 de BYD y por la flota de 68 autobuses.

Por ello, en el diseño se ha propuesto realizar una infraestructura que agrupa 6 centros de carga independientes de igual capacidad y características, ubicados en diferentes puntos de la ciudad de Cuenca, con el propósito de reducir el efecto de la carga en la red de distribución.

La instalación eléctrica de los centros de carga debe abastecer a los autobuses eléctricos de acuerdo a las necesidades de potencia, los cuales se componen de:

Infraestructura de carga

La infraestructura de carga se alimenta desde la red de distribución de media tensión a 22 kV mediante un alimentador. La infraestructura alimentará a los 6 centros de carga, cada uno compuesto por 6 estaciones de carga o cargadores.

En consecuencia, el número total de cargadores para la flota de 68 autobuses será de 36 debido a que se puede cargar dos autobuses desde un mismo cargador que dispone de dos pistolas. Esto da un total de 34 cargadores para cubrir la flota, pero se instalarán 2 cargadores adicionales para mantenerlos en reserva.

Considerando el tamaño de la flota y el tiempo de carga por autobús, se requiere la instalación de 1 cargador de 2 pistolas de carga por cada 2 autobuses con el propósito de



reducir la demanda y el costo que implica la potencia contratada. La instalación eléctrica de cada centro de carga se compone de:

- Centro de Seccionamiento
- Centro de transformación
- Cargadores

En la infraestructura de carga se reserva la potencia necesaria para instalar los siguientes circuitos:

Iluminación

En el presente proyecto no se diseña el circuito de iluminación del centro de carga, ya que se requiere de un estudio detallado. Sin embargo, la demanda para este circuito es bastante menor comparada con la de los cargadores.

Tomas adicionales

Las tomas adicionales de corriente no se diseñan debido a que su instalación dependerá de las futuras necesidades de servicio.

3.1.2. UBICACIÓN

Los 6 centros de carga se ubicarían en diferentes puntos de la ciudad de Cuenca, los cuales se alimentarían a partir de los postes de propiedad de la empresa EERCS especificados en los planos del Geoportal de la Centrosur.

La primera propuesta de este estudio, es la colocación de un conjunto de estaciones de carga (Centro de carga 1) ubicadas en la parada El Lirio perteneciente a la línea 3 mostrada en la *Figura 3.1* situada en el sector El Lirio, vía Cuenca-Molleturo-Naranjal, cuyo punto de suministro de energía podría estar dado por el punto P1 de coordenadas -79,078-2,872 Grados pertenecientes al poste número 417283, [16].



Figura 3.1. Parada El Lirio [32].

La segunda propuesta es el centro de carga 2 para suministrar energía a los autobuses de las líneas 3, 8 y alimentador 201 que cubren las rutas El Lirio-Eucaliptos-El Lirio, Los Trigales-San Joaquín-Los Trigales y Feria Libre-Sayausí-Feria Libre respectivamente con un conjunto de 6 estaciones de carga para 12 autobuses.

El centro de carga 2 se situaría en el área destinada al garaje de la *Figura 3.2* perteneciente a la compañía Comcuetu S.A, ubicada en la avenida Ordóñez Lasso entre las calles Agustín Sánchez, César Andrade y Cordero, su punto de suministro de energía podría estar dado por el punto P2 de coordenadas $-79,078-2,871$ Grados pertenecientes al poste número 317696, [16].

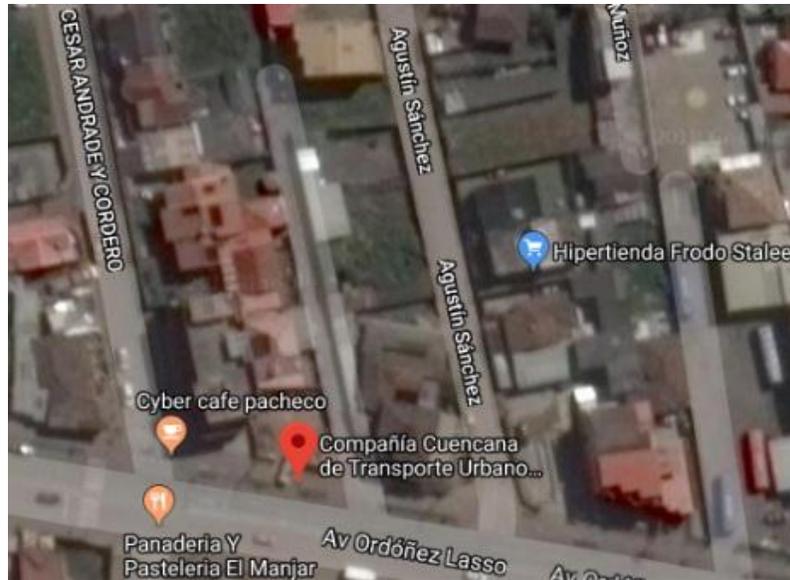


Figura 3.2. Garaje de la compañía Comcuetu S.A, [33].

El centro de carga 3 se emplazaría para suministrar energía a los autobuses de las líneas 8, 19 y 29 que cubren las rutas Los Trigales-San Joaquín-Los Trigales, Visorrey-Tenis Club-Visorrey, Balzay-Mol del Río-Balzay respectivamente con un conjunto de 6 estaciones de carga para 12 autobuses.

El centro de carga 3 se ubicaría en el lote de la vía Cuenca-Molleturo-Naranjal en el sector de San Joaquín, el cual se indica en la *Figura 3.3*, su punto de suministro de energía podría estar dado por el punto P3 de coordenadas $-79,055-2,896$ Grados pertenecientes al poste número 398782, [16].

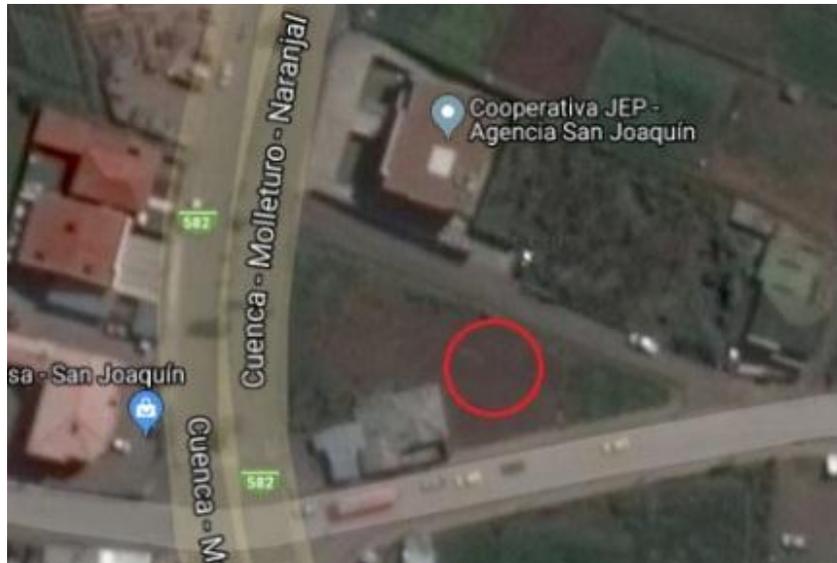


Figura 3.3. Lote de San Joaquín [32].

La cuarta propuesta es el centro de carga 4 para suministrar energía a los autobuses del Alimentador 201, Trocal Norte y Troncal Sur que cubren las rutas El Lirio-Eucaliptos-El Lirio, Ricaurte-Terminal Terrestre-Feria Libre y Baños-Feria Libre-Terminal Terrestre respectivamente con un conjunto de 6 estaciones de carga para 12 autobuses.

El centro de carga 4 se situaría en la Estación de Transferencia El Arenal localizada en la Avenida de las Américas la cual se indica en la *Figura 3.4*, su punto de suministro de energía podría estar dado por el punto P4 de coordenadas $-79,031-2,903$ Grados pertenecientes al poste número 289381, [16].

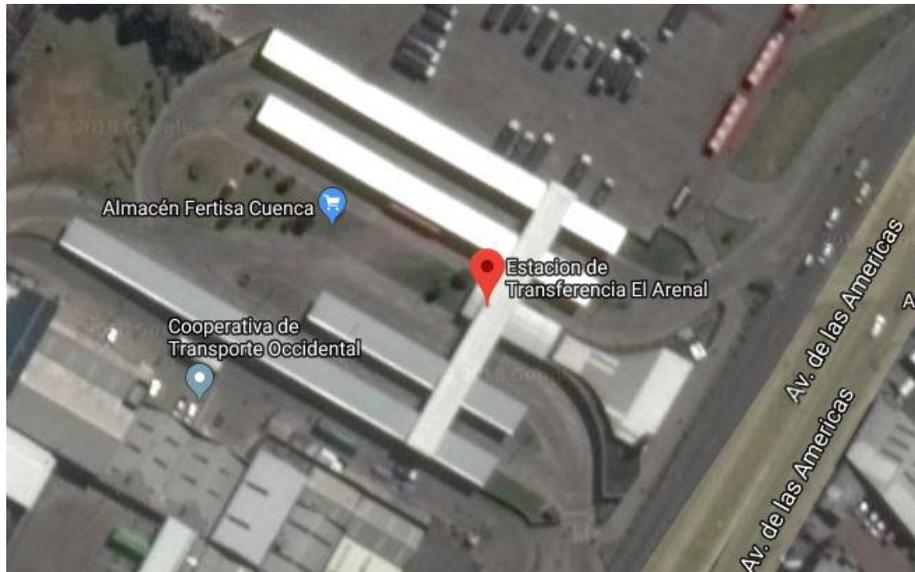


Figura 3.4. Estación de Transferencia El Arena [32].

La quinta propuesta es el centro de carga 5 para suministrar energía a los autobuses de la línea 3 y el Alimentador 201 que cubren las rutas El Lirio-Eucaliptos-El Lirio, y Feria Libre-Sayausí-Feria Libre respectivamente con un conjunto de 6 estaciones de carga para 12 autobuses.

El centro de carga 5 se instalaría en el lote ubicado en la calle De la Bandera Nacional entre la Avenida González Suárez y la Calle del Himno, cerca de la parada final situada junto al redondel de las Mujeres de Piedra, el cual se indica en la *Figura 3.5*, su punto de suministro de energía podría estar dado por el punto P5 de coordenadas $-78,959-2,885$ Grados pertenecientes al poste número 505156, [16].

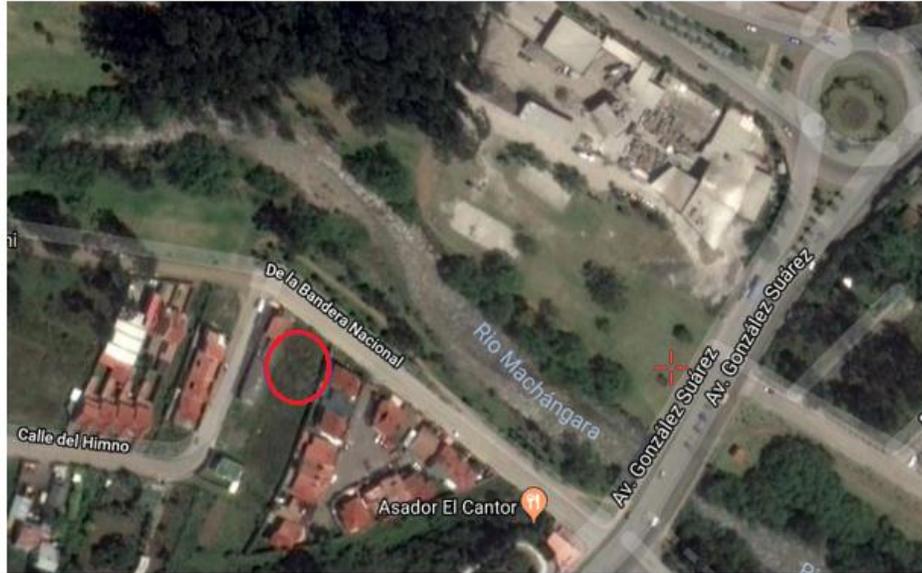


Figura 3.5. Lote baldío en la calle De la Bandera Nacional [32].

La sexta propuesta es para suministrar energía a los autobuses del Alimentador 101, Alimentador 102, Alimentador 203, Trocal Norte y Troncal Sur que cubren las rutas Yanaturo-Terminal Terrestre, Eucaliptos-Terminal Terrestre, Terminal Terrestre-Eucaliptos-Terminal Terrestre, Ricaurte-Terminal Terrestre-Feria Libre y Baños-Feria Libre-Terminal Terrestre respectivamente con un conjunto de 6 estaciones de carga para 12 autobuses.

El centro de carga 6 se instalaría en la Estación de Transferencia del Terminal Cuenca localizada en el Terminal de Cuenca, en la avenida Gil Ramírez Dávalos y la calle Del Chorro, la cual se indica en la *Figura 3.6*, su punto de suministro de energía podría estar dado por el punto P6 de coordenadas $-78,994-2,892$ Grados pertenecientes al poste número 230203, [16].

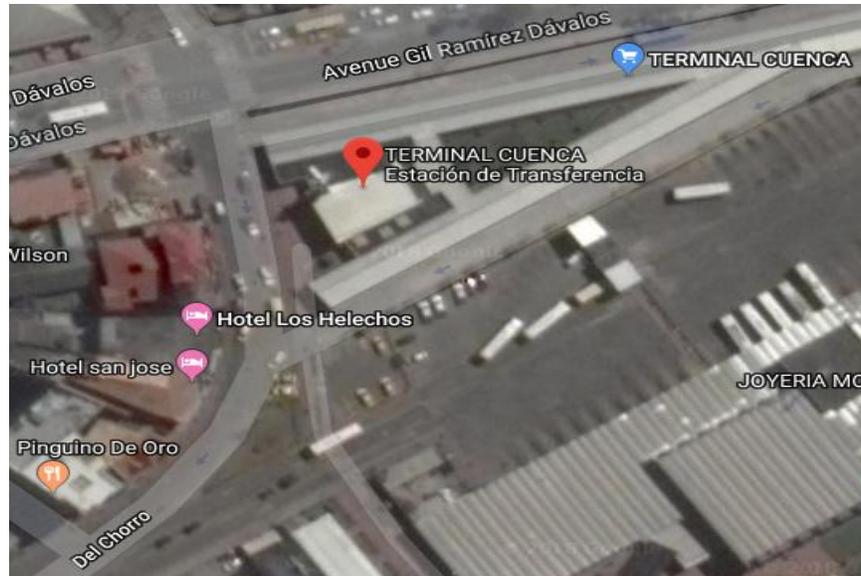


Figura 3.6. Estación de Transferencia del Terminal Cuenca [33].

3.1.3. OBJETIVO

El objetivo de la memoria descriptiva para la instalación eléctrica es presentar el diagrama esquemático general de un centro de carga, compuesto por sus respectivas estaciones de carga, para una flota de 68 autobuses eléctricos y determinar las especificaciones técnicas del mismo.

3.1.4. REGULACIÓN.

En este proyecto técnico se consideran las siguientes normativas:

- Resolución No. ARCONEL-038/15 “Tarifa general de baja tensión con registrador de demanda horaria para vehículos eléctricos”.
- Proyecto de Reglamento Técnico Ecuatoriano PRTE INEN 162 “Accesorios de carga para vehículos eléctricos”.
- Homologación de las Unidades de Propiedad (UP) y Unidades de Construcción (UC) del sistema de distribución eléctrica.



- Código de Prácticas Ecuatoriano CPE INEN 19:2001, Capítulo 2: Alambrado y protección de las instalaciones eléctricas, Sección 250.

3.2. PREVISIÓN DE LA DEMANDA.

En este proyecto, la previsión de la demanda se realiza para dimensionar la instalación eléctrica de la infraestructura de carga. La potencia nominal total que suministrarán los 6 centros de carga es 3158 kVA, mediante 36 cargadores o estaciones de carga. La potencia nominal de un centro de carga es 526.316 kVA, utilizando 6 cargadores equipados de 2 conectores a 40 kW cada uno. La demanda de la flota de 68 autobuses será 2720 kW y para cada autobús de 40 kW, durante aproximadamente 8 horas. La potencia nominal en kVA se obtiene al dividir la potencia nominal en kW para el factor de potencia de 0.95 correspondiente al sistema de conversión de energía para los autobuses eléctricos en estudio.

En las *Tablas 3.1 y 3.2* para cada tipo de carga se define la potencia activa consumida y potencia total, alimentadas mediante los 6 centros de carga y por un centro de carga respectivamente. La carga principal está constituida por la totalidad de la flota de autobuses eléctricos, la cual debe abastecerse preferentemente en horarios de menor consumo y ocasionalmente en horarios de medio consumo o mayor consumo.

Horarios de consumo para la energía eléctrica según la Resolución No. ARCONEL-038/15:

- Menor consumo: 10am – 8am.
- Medio consumo: 8am – 6pm.
- Mayor consumo: 6pm – 10pm.



Tabla 3.1. Cargas totales para 6 centros de carga.

Tipo de carga	Potencia activa (kW)
Cargadores	2880
Iluminación	12
Tomas adicionales	60
Total	2952

Tabla 3.2. Cargas para 1 centro de carga.

Tipo de carga	Potencia activa (kW)
Cargadores	480
Iluminación	2
Tomas adicionales	10
Total	492

3.3. RED DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN.

La red de distribución aérea en MT a 22 kV está compuesta de tres conductores de fase y un conductor neutro conectado a tierra común a los circuitos de BT trifásicos.

3.3.1. ACOMETIDAS

Las acometidas se derivan desde la red de distribución aérea en MT, suministran energía a los centros de transformación de los centros de carga. El cableado AWG de las acometidas es de 3 fases y 4 conductores (3F4C), el cual se dirige desde un poste mediante tubería metálica incrustada hacia los centros de seccionamiento y luego a los centros de transformación.

Las acometidas se especifican en el plano de instalación eléctrica, se componen de conductores aislados en media tensión de aluminio, clase 25 kV, 3x240 mm² + 1x240 mm²: AC-E3x240(240).

3.3.1.2. CONDUCTOR DE MEDIA TENSIÓN

El conductor de media tensión seleccionado es el RHV AI, clase 25 kV, el mismo que se indica en la *Figura 3.7*, está compuesto de los siguientes elementos:

1. Conductor: Aluminio, clase 2 compacto, norma IEC 60228.
2. Semiconductores interior y exterior: Cruzado-vinculado al semiconductor compuesto.
3. Aislamiento: Cruzado-vinculado al polietileno retardante a las arborescencias (XLPE-TR).
4. Semiconductores interior y exterior: Cruzado-vinculado al semiconductor.
5. Pantalla: Cinta de cable de cobre.
6. Cubierta: Cloruro de polivinilo (PVC).

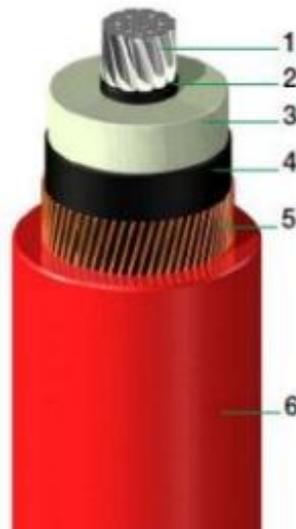


Figura 3.7. Conductor aislado de media tensión [30].

Estándares

- Diseño y prueba estándar: IEC 60502-2.
- Retardante de llama IEC: 60332-1-2.
- Cumple: ISO 9001, ISO 14001, ISO 18001.



Características

- Instalación: Aérea, subterránea o enterrado directamente en el suelo.
- Colores: Negro o rojo.
- Temperatura máxima de servicio: 90 °C.
- Temperatura máxima de operación en corto circuitos: 250 °C.

La *Tabla 3.3* y la *Tabla 3.4* indican las especificaciones técnicas del conductor para MT, con pantalla metálica compuesta por cables de cobre H16.

Tabla 3.3. Características físicas del conductor RHV Al, [29].

Código	Sección cruzada	Diámetro de aislamiento	Diámetro externo	Peso	Radio de curvatura
	(mm ²)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)
1253115	70	23.6	30.0	1.055	395
1253120	240	31.9	38.8	1.865	585

Tabla 3.4. Características eléctricas del conductor RHV Al, [29].

Corriente intemperie 40 °C	Corriente subterránea 25 °C	Reactancia inductiva 20 °C	Capacitancia
(A)	(A)	(ohm/km)	(μF/km)
209	175	0.134	0.163
457	342	0.109	0.249

Los conductores utilizados en las instalaciones de MT se especifican en el plano como:

- Conductor aislado de media tensión de aluminio, clase 25 kV, 3x240 mm² + 1x240 mm²: CO-E3x240(240).
- Conductor aislado de media tensión de aluminio, clase 25 kV, 3x70 mm² + 1x70 mm²: CO-E3x70(70).

3.4. CENTRO DE SECCIONAMIENTO.

El Centro de Seccionamiento (CS) recibe en su entrada la acometida de la red de distribución en MT, desde su salida alimenta en punta y protege al centro de



transformación. En este proyecto se utiliza un CS por cada centro de transformación, para obtener una derivación trifásica en MT. El CS está equipado con celdas RM6 instaladas en el interior de un centro de maniobra monobloque a 24 kV, serie ECS-24. Los CSs se instalan de forma independiente a los centros de transformación.

3.4.1. CELDAS RM6

Las celdas de la gama RM6 forman un sistema totalmente aislado en SF6 de hasta 24 kV en MT. Las celdas RM6 de la *Figura 3.8* contienen:

- Una cuba de acero inoxidable sellada que integra partes activas, interruptor seccionador, seccionador de puesta a tierra, interruptor automático.
- Compartimiento de cables para conexión a la red o a un transformador.
- Compartimiento de mando para maniobra.
- Compartimiento de fusibles para función interruptor ruptofusibles.



Figura 3.8. Celdas de la gama RM6 [56].

Las características de las celdas RM6 se describen en el *ANEXO II*, las especificaciones eléctricas se resumen en la *Tabla 3.5*. El interruptor automático tiene



asignada una corriente de 400 A para funciones de línea y de 16 kA para protección del transformador. Los interruptores tienen un poder de cierre de 40 kA cresta. El seccionador de puesta a tierra posee un poder de corte de 40 kA cresta.

Tabla 3.5. Especificaciones eléctricas de las celdas RM6.

Tensión asignada	24 kV
Tensión a frecuencia industrial	50 kV eficaz
Tensión asignada tipo rayo	125 kV cresta
Corriente asignada para funciones de línea	400 A
Corriente asignada para funciones de protección	200 A
Corriente tolerable de corta duración	16 kA eficaz /1 segundo
Poder de cierre	40 kA cresta

3.4.2. CENTRO DE MANIOBRA MONOBLOQUE

El centro de maniobra monobloque 24 kV serie ECS-24, tipo intemperie, prefabricado de hormigón, regulado mediante la norma UNE-EN 61330, tiene dimensiones reducidas menores a 2.5 m², las mismas que se especifican en el ANEXO III. La Figura 3.9 exhibe el centro de maniobra monobloque el cual contiene las celdas RM6.



Figura 3.9. Centro de maniobra monobloque prefabricado [56].



3.5. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.

El Centro de Transformación (CT) suministra energía al circuito en BT de las estaciones de carga, mediante un transformador. El centro de transformación es de tipo intemperie, se compone de una cabina prefabricada situada en el área del centro de carga.

3.5.1. TRANSFORMADOR DE POTENCIA

El transformador seleccionado para suministrar energía al circuito de BT es del tipo trifásico seco a cuatro hilos con relación de transformación 22 kV / 440 V, conexión Delta - Estrella, neutro secundario continuo, frecuencia de 60 Hz. Las especificaciones técnicas de los transformadores se muestran en el *ANEXO IV*.

Características

El transformador cumple con las normas nacionales (INEN) e internacionales (IEEE e IEC). La refrigeración del transformador tipo seco se consigue mediante circulación natural del aire o ventilación forzada. El aislamiento es tipo H, de bajas pérdidas en el núcleo y mínimo nivel de ruido. La *Tabla 3.6* especifica los accesorios del transformador de la *Figura 3.10*.

Tabla 3.6. Accesorios del transformador [42].

RANGO DE FABRICACION.	POTENCIA (kVA)	500
	VOLTAJE (Voltios)	22 k / 440
1	Puerta Frontal	*
2	Puerta Posterior	*
3	Cuerpo Principal	*
4	Acceso/salida De Conductores	*
5	Base	*
6	Orejas De Levantamiento	*

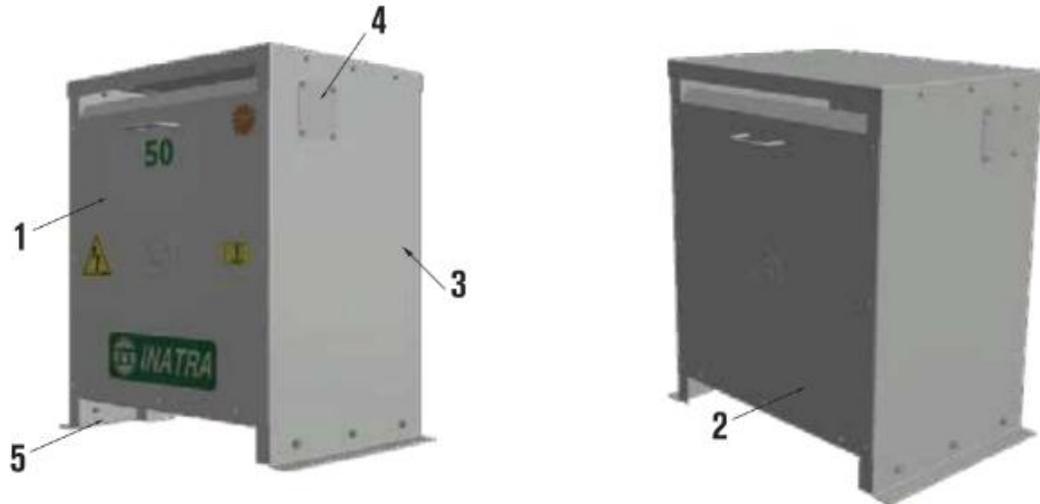


Figura 3.10. Accesorios externos del transformador [42].

Los datos de la *Tabla 3.7* son datos referenciales para el diseño y ensamblaje de los transformadores de 500 kVA de potencia de 22 kV a 440 V, basados en datos de un transformador de 24 kV a 420 V.

Tabla 3.7. Dimensiones del transformador.

Dimensiones	Unidades	
Potencia	kVA	500
Largo total	mm	1700
Ancho total	mm	1020
Altura máxima	mm	1900
Peso total	kg	1500

3.5.1.1. PUENTES DE CONEXIÓN

Conexión en el primario del transformador

Juego de puentes compuestos por cables de MT unipolares de aislamiento seco tipo RHZ1, nivel de aislamiento 18/30 kV, sección 95 mm² en Aluminio y elementos de conexión.



Conexión en el secundario del transformador

Juego de puentes compuestos por cables de BT unipolares de aislamiento seco tipo RV, nivel de aislamiento 0.6/1 kV, sección 3x240 mm² en Cobre, 3 x fase + 2 x neutro.

3.5.2. CELDAS DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

Las celdas modulares de la gama SM6 se utilizan para proteger al centro de transformación, en las instalaciones de MT a BT, las cuales cumplen funciones de línea, protección y medida.

El modelo de las celdas SM6 se muestra en la *Figura 3.11*, están equipadas con aparatos fijos, bajo envolvente metálica, emplean hexafluoruro de azufre (SF₆) como aislante y agente de corte en los siguientes equipos:

- Interruptor-seccionador.
- Interruptor-automático Fluarc SF1.
- Seccionador.
- Seccionador de puesta a tierra.
- Contactador ROLLARC.



Figura 3.11. Celdas de la gama SM6 [56].

En la *Tabla 3.8* se resume las especificaciones eléctricas de las celdas SM6, en donde la intensidad se asigna de acuerdo al calibre de los fusibles y el poder de corte depende del interruptor o contactor. En el *ANEXO V* se indica las características de las celdas.

Tabla 3.8. Resumen de especificaciones eléctricas.

Tensión asignada	24 kV
Tensión asignada de aislamiento	50 kV eficaces
Tensión asignada de seccionamiento	60 kV eficaces
Tensión asignada de aislamiento tipo rayo	125 kV cresta
Tensión asignada de seccionamiento	145 kV cresta
Corriente asignada para funciones de línea	400 A
Corriente asignada para interruptor automático	400 A
Poder de cierre	40 kA cresta
Corriente admisible en un segundo	25 kA eficaces

3.5.2.1. CELDA DE LÍNEA

La celda de línea seleccionada es la IM de la gama SM6 con interruptor automático de dimensiones: 1.600 mm de altura, 840 mm de profundidad, 375 mm de ancho. La *Figura 3.12* muestra la estructura de la celda IM, la cual contiene los siguientes accesorios:



- Interruptor-seccionador de corte en SF6 de 400 A, tensión 24 kV y 16 kA.
- Seccionador de puesta a tierra con poder de cierre en SF6.
- Juego de barras tripolar de 400A.
- Mando CIT manual.
- Bornes para conexión de cable.
- Contacto de puesta a tierra.
- Bornes para conexión de cable seco unipolar de sección 53.5 mm².

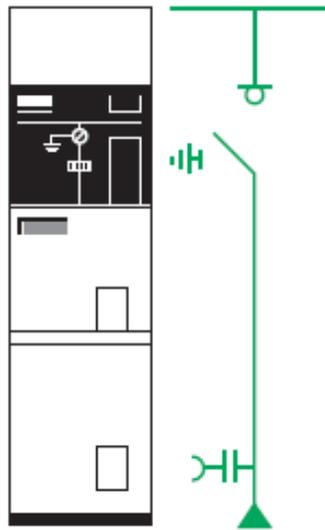


Figura 3.12. Celda IM de llegada o salida de línea [56].

3.5.2.2. CELDA DE PROTECCIÓN

La celda de protección seleccionada es la DM1-C de la gama SM6 con interruptor automático de dimensiones: 1.600 mm de altura, 840 mm de profundidad, 750 mm de ancho. La *Figura 3.13* muestra la estructura de la celda DM1-C, la cual contiene los siguientes accesorios:

- Interruptor automático de corte en SF6 tipo Fluarc SF1, tensión asignada de 24 kV, corriente asignada de 400 A, poder de corte 16 kA.

- Seccionador en SF6.
- Alojamiento de 3 transformadores de corriente de protección.
- Juego de barras tripolar a 400 A para conexión superior con celdas adyacentes a 16 kA.
- Mando interruptor automático RI manual.
- Mando seccionador CS1 manual dependiente.
- Seccionador de puesta a tierra superior sin poder de cierre (enclavamiento de panel).
- Seccionador de puesta a tierra inferior con poder de cierre (mando CC).

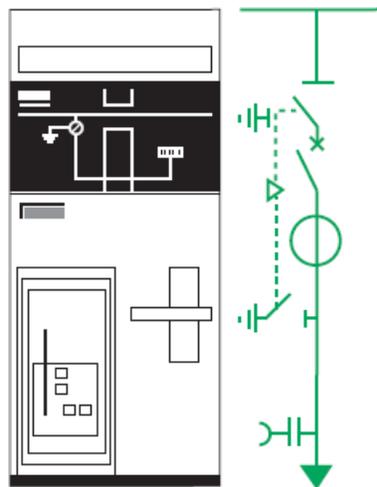


Figura 3.13. Celda DM1-C de protección con interruptor automático [56].

3.5.2.3. CELDA DE MEDIDA

La celda para medida de tensión e intensidad con entrada y salida inferior por cable elegida es la GBC-2C, gama SM6 con dimensiones: altura 1.600 mm, profundidad 1038 mm, ancho 750 mm. La *Figura 3.14* muestra la estructura de la celda GBC-2C, la cual contiene los accesorios:

- Transformadores de intensidad.
- 2 transformadores de tensión bipolares.

- Juego de barras tripolar de 400 A, 24 kV y 16 kA.
- Bornes de conexión para entrada y salida por cable unipolar.

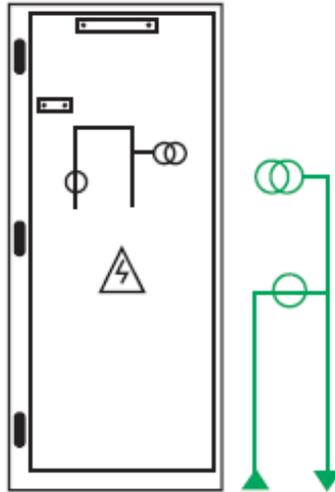


Figura 3.14. Celda GBC-2C de medida de tensión e intensidad [56].

3.5.3. CABINA PREFABRICADA

Las cabinas prefabricadas de hormigón monobloque designados para instalar los centros de transformación pertenecen a la serie EHC-4, regulados mediante la norma UNE-EN 61330, las características técnicas se indican en el ANEXO VI. La Figura 3.15 muestra el modelo de los centros de transformación dentro de los cuales se aloja:

- Transformador de 500 kVA.
- Celda de línea.
- Celda de protección con fusibles.
- Celda de medida.
- Cuadro General de Baja Tensión (CGBT).
- Contador Principal.

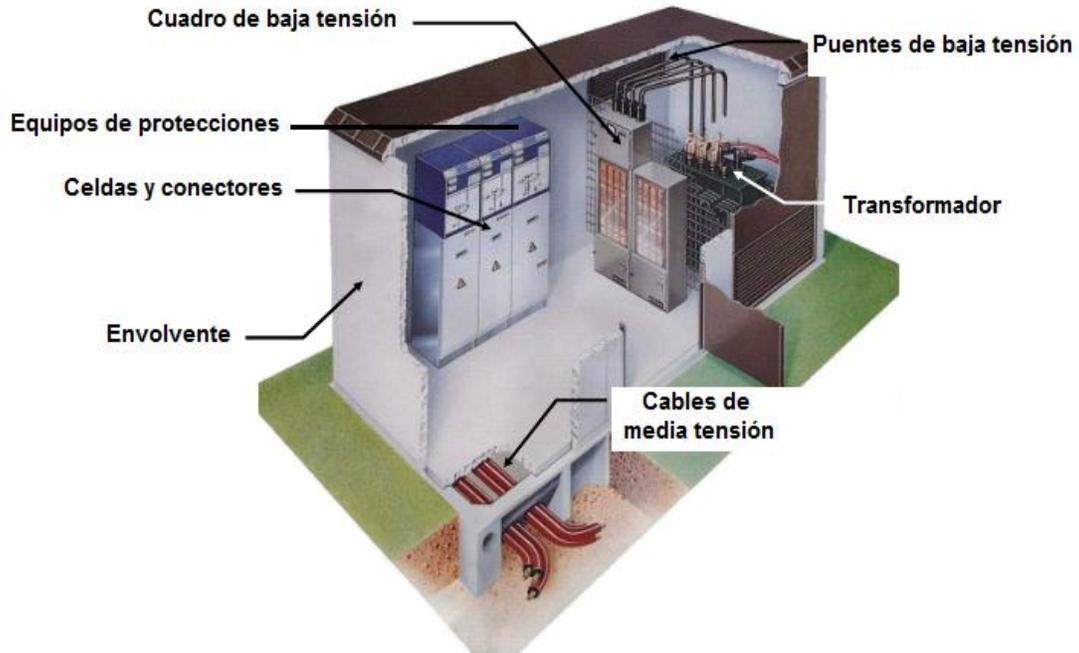


Figura 3.15. Centro de transformación [38].

3.5.4. CUADRO DE BAJA TENSIÓN

En el cuadro de baja tensión para el centro de carga se utiliza los siguientes cuadros:

- Cuadro General de Baja Tensión.
- Cuadros Secundarios: Cargadores, iluminación y tomas adicionales.

3.5.4.1. CUADRO GENERAL DE BAJA TENSIÓN

En el CGBT se asigna una tensión trifásica de 440 VAC, a frecuencia de 60 Hz, se compone de los siguientes equipos de protección:

- Interruptor automático: Corte de carga a 400 A, 440 V, 60 Hz, 3 polos más neutro.
- Interruptor diferencial: 4 polos, corriente asignada 100 A, sensibilidad 30 mA.
- Interruptor seccionador con fusible: Corriente asignada 200 A, tensión 440 V.
- Interruptor seccionador con fusible: Corriente asignada 400 A, tensión 440 V.
- Tablero de baja tensión: Alojamiento de los equipos de protección del CGBT.



Dimensiones: largo 1800 mm, ancho 300 mm, profundidad 500 mm.

3.5.4.2. CUADROS SECUNDARIOS

En los cuadros secundarios no se considera los cuadros de iluminación y tomas adicionales, únicamente los Cuadros Secundarios de Cargadores (CSC) colocados en un armario al interior del centro de transformación.

3.5.5. PUESTAS A TIERRA

En el presente proyecto se define las puestas a tierra de protección, puestas a tierra de servicio, la instalación de los electrodos y la instalación del mallado.

Puesta a tierra de protección

En la puesta a tierra de protección se conectan las partes metálicas interiores del CT que normalmente están sin tensión entre estas: carcasa del transformador, chasis y bastidores de los aparatos de maniobra, envolventes y armazones de aparatos en MT (cabinas, celdas), armarios, elementos de BT, blindajes de los cables en MT.

Puesta a tierra de servicio

En la puesta a tierra de servicio se conectan de forma independiente los puntos o elementos que forman parte de los circuitos eléctricos en MT y BT, se conectan a tierra los siguientes equipos:

- Transformadores: Punto neutro del secundario o uno de los bornes de cada secundario.
- Seccionadores de puesta a tierra: Punto de cierre en cortocircuito de las tres fases y desconexión a tierra.



3.5.5.1. INSTALACIÓN DE PUESTAS A TIERRA

En la elección e instalación de las puestas a tierra se considera las características generales de la instalación eléctrica, resistividad del terreno, el riesgo potencial para las personas y bienes. En las puestas a tierra, los electrodos se colocan utilizando las capas de tierra más conductoras, tratando de compactar al máximo el terreno. Los electrodos utilizados son picas de 14 mm de diámetro y conductor de cobre desnudo de 50 mm² de sección.

3.5.5.2. INSTALACIÓN DEL MALLADO DE PUESTA A TIERRA

El mallado de puesta a tierra se instala en la cabina de transformación prefabricada de hormigón para el CT y el CS antes de fundir el piso. El mallado se compone de cable desnudo de cobre suave No. 2/0 AWG., en su interconexión se utiliza soldadura exotérmica. Las varillas del mallado serán de acero recubiertas de cobre, con longitud 2.40 m por 5/8" de diámetro. El número de varillas depende de la resistividad del terreno y de la resistencia del mallado, la cual debe ser menor o igual a 10 ohmios.

3.5.5.3. INSTALACIÓN DEL PARARRAYOS DE PUESTA A TIERRA

El pararrayos seleccionado en este proyecto es del tipo Franklin punta múltiple, acero inoxidable, incluye una pieza de adaptación de 1 ½", el cual se muestra en la *Figura 3.16*. Los pararrayos se instalarían en cada centro de carga con el propósito de proteger a los CTs y CSs.



Figura 3.16. Pararrayos tipo Franklin punta multiple [54].

Los elementos utilizados en la instalación del pararrayos se describen en la *Figura 3.17*. El conductor a tierra del pararrayos está compuesto por un conductor desnudo de cobre de sección inferior a 50 mm², sujeto en el exterior de la cámara del CT o CS mediante abrazaderas para un buen tensado, en los últimos metros se utilizará tubo galvanizado o similar en su protección, el recorrido debe ser lo más vertical posible.

En la instalación de los pararrayos se consideran los siguientes aspectos:

- El pararrayos se instala por lo menos a 2 metros por encima de las cámaras de los CTs y CSs.
- La resistencia de puesta a tierra no debe superar a 10 ohmios.
- Las puestas a tierra no se realizarán a menos de 5 metros de las líneas eléctricas.
- La puesta a tierra del pararrayos se une con las existentes.
- El registro de rayos se emplea en las revisiones periódicas de las puestas a tierra.
- La conductividad del terreno se mejora usando el compuesto mineral Quibacsol.
- La arqueta para el registro de rayos posee un sistema seccionador que desconecta la puesta a tierra para realizar la medición de la resistencia.

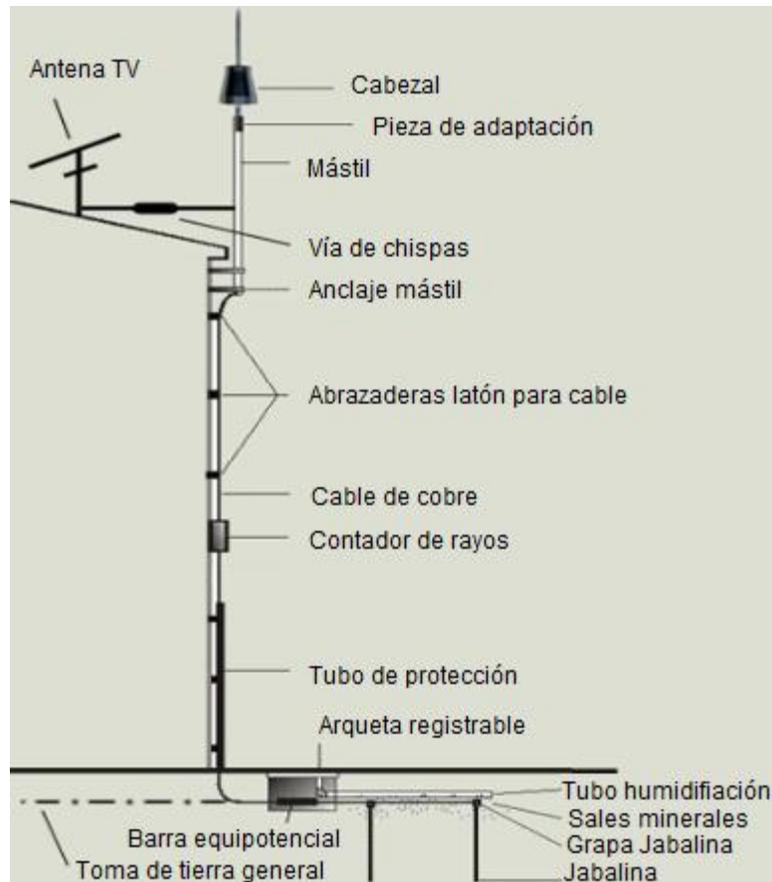


Figura 3.17. Elementos de la instalación del pararrayos [8].

3.6. CONTADOR PRINCIPAL

El contador principal consta de un armario homologado en el que se coloca 1 medidor electrónico con puerto para gestión de medición remota, se ubica en el exterior de los centros de carga junto a la vía. El medidor verifica el consumo en horarios de menor consumo, medio consumo y mayor consumo.

3.7. RED DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN.

La red de distribución en baja tensión tiene una tensión nominal de trabajo de 440 V trifásica, se utiliza para distribuir la energía a los autobuses eléctricos mediante un contador principal. La *Figura 3.18* describe el esquema de instalación para la red de

distribución en BT, en donde la caja general o Caja de Protección y Medida (CPM) incluye el contador y los fusibles de protección.

La *Tabla 3.9* especifica que líneas alimentan el centro de carga.

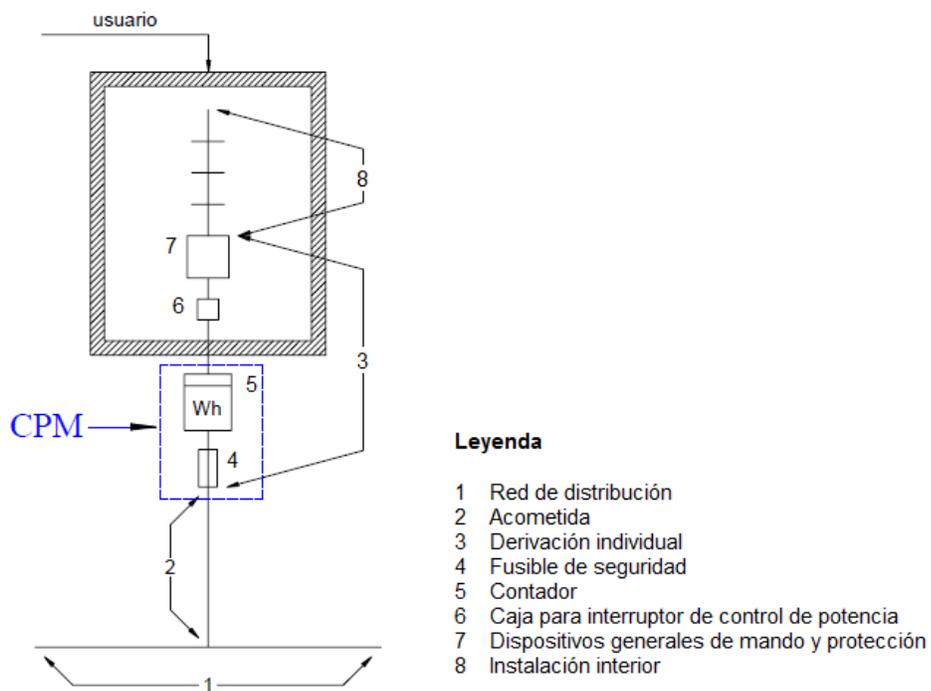


Figura 3.18. Esquema del contador principal para los autobuses eléctricos [14].

Tabla 3.9. Líneas principales del centro de carga.

Línea	Tramo	Dimensión (m)	Potencia (kW)
Distribución	Interruptor transfo-armario	1	500
1	CGBT-Línea General	1	492
2	CGBT-Estaciones de carga	10	480
3	CGBT-Iluminación	-	2
4	CGBT-Tomas adicionales	-	10
5	CSC-Estaciones de carga	-	80



Cuadros secundarios

Los cuadros secundarios se colocan en un armario sobre el suelo, uno por cada derivación individual. En los cuadros secundarios de la red en BT no se considera la instalación de los cuadros de iluminación y de tomas adicionales. El cuadro secundario de los cargadores alimenta a 6 cargadores por cada CT.

3.7.1. CARGADOR

El tipo de cargador seleccionado corresponde al tipo AC de la marca BYD EVA 080KI de la *Figura 3.19*, compuesto por los siguientes elementos:

1. Pantalla táctil: Interfaz de operación y visualización, puede observar el estado de carga en tiempo real y operar la caja de carga.
2. Área RFID: Es el área de identificación de radiofrecuencia para hacer la carga o detener la carga.
3. Indicador LED: Indica cinco tipos de estado, incluida la fuente de alimentación, la conexión, la carga, la carga completa y la falla.
4. Parada de emergencia: En caso de emergencia corta el suministro de energía de entrada y detiene el funcionamiento de la caja de carga.
5. Conector de carga: Dispositivo que conecta una caja de carga y un vehículo eléctrico.
6. Caja de control: Conexión de la línea de entrada de la caja de carga con disyuntor incorporado.

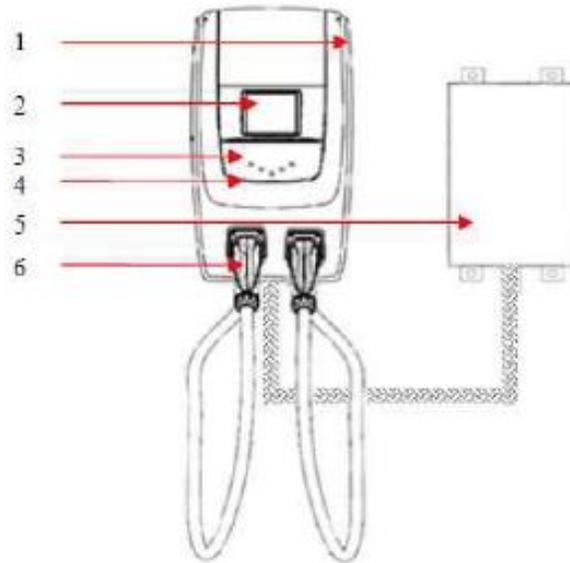


Figura 3.19. Componentes de la caja de carga.

Fuente: (BYD, INFOGRAFIAS.CL , 2018)

En la Figura 3.20 se indica el diagrama de funciones del cargador.

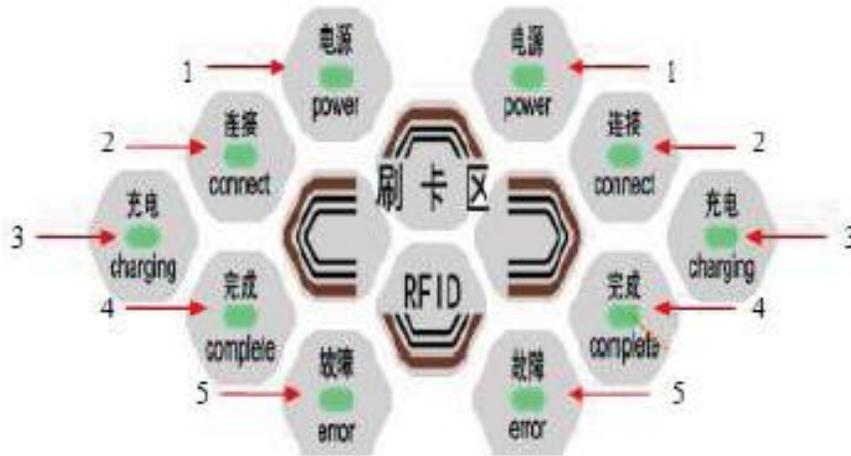


Figura 3.20. Diagrama de funciones del cargador [13].

Las funciones del cargador se especifican en la Tabla 3.10.



Tabla 3.10. Características del cargador BYD.

Nº de serie	Tecla	Estado operativo
1	Power	On
2	connect	On
3	charging	Parpadeo
4	complete	Parpadeo
5	error	Parpadeo

Las características del cargador se especifican en la *Tabla 3.11* y las especificaciones técnicas de instalación se indican en el ANEXO VII.

Tabla 3.11. Características del cargador BYD.

Cargador	AC estándar europeo
Potencia de carga	40 kWx2
Pistolas de carga	2 pistolas
Tensión de carga y frecuencia	440 V, 60 Hz

3.7.2. LÍNEAS DE BAJA TENSIÓN

Líneas principales

Las líneas principales conectarán el secundario de los transformadores con el CGBT.

Líneas secundarias

Las líneas secundarias conectan los interruptores diferenciales ubicados en la salida del CGBT con los cuadros secundarios. En la conexión se utilizan conductores de cobre los cuales se extienden en el suelo hasta los cuadros secundarios.

3.7.3. CONDUCTORES DE BAJA TENSIÓN

El conductor seleccionado para la instalación de BT es el mono conductor extra flexible, aislación XLPE y cubierta PVC. Los cables se basan en el sistema milimétrico

RV-K FOC. El conductor RV-K FOC de la Figura 3.21 está compuesto de los siguientes elementos:

1. Conductor: Cobre flexible, clase 1.
2. Aislación: XLPE.
3. Cubierta exterior: PVC de color negro.

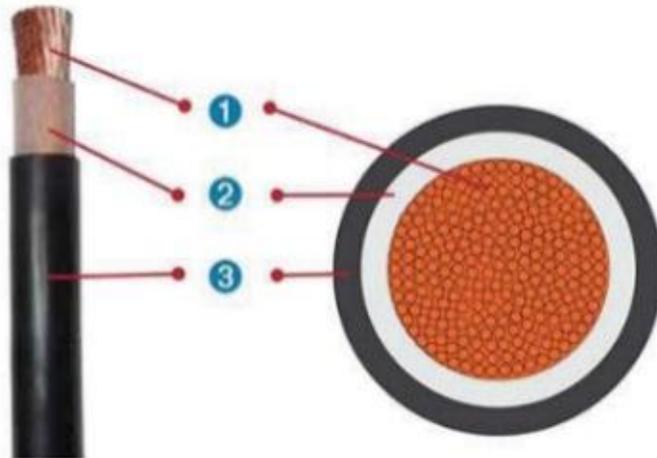


Figura 3.21. Conductor RV-K FOC [30].

Certificaciones, Pruebas y Normas

- Los conductores cumplen con la norma IEC 60502-1 y con el Sistema de Gestión de Calidad de General Cable/Cocesa ISO 9001.
- Los conductores RV-K FOC no propagan la llama de acuerdo a la norma IEC 9001.

Características

- Tensión de servicio RV-K FOC: 600/1000 V.
- Temperatura máxima de servicio: 90 °C.
- Temperatura de sobrecarga: 130 °C.



- Temperatura de corto circuito: 250 °C.
- Cubierta exterior resistente a la llama, humedad y rayos uv.

En la *Tabla 3.12* se muestra las especificaciones técnicas del conductor RV-K FOC.

Tabla 3.12. Características del conductor de BT [30].

Calibre AWG/kcmil	Sección nominal mm ²	Diámetro del conductor aprox. mm	Espesor aislación mm	Diámetro exterior aprox. mm	Peso total aprox. kg/km	Resistencia máx. a 20 °C CC Ω/km	Capacidad de corriente A		
							Ducto enterrado (1) Temp. amb. 20 °C	Direct. enterrado (2) Temp. amb. 20 °C	Aire libre (3) Temp. amb. 40 °C
1/0	53.5	9.4	1.0	14.9	598	0.344	193	297	214
2/0	67.4	10.7	1.1	16.5	745	0.273	220	337	247

- (1) Ducto enterrado a 0,7 m, 3 cables por ducto. Rho del terreno 0,9.
- (2) Cables enterrados a 0,9 m, separados a 0,2 m desde sus centros. Rho del terreno 0,9.
- (3) Cables triplexados al aire y soportados por un mensajero.

3.8. ÁREA DEL CENTRO DE CARGA.

El área necesaria para la instalación de un centro de carga depende de las dimensiones del terreno disponible para el proyecto técnico. En la instalación de 6 centros de carga en un solo garaje que alimentaría a una flota de 68 autobuses se necesitaría un terreno con dimensiones aproximadas 132 m de longitud por 48 m de ancho o uno con longitud 160 m por 45 m de ancho, en un área aproximada de 6336 m² o 7200 m² respectivamente.

En la instalación de un centro de carga que alimentaría hasta 12 autobuses se requeriría de un terreno con dimensiones aproximadas 45 m de longitud por 27 m de ancho o uno con longitud 42 m por 33 m de ancho, en un área aproximada de 1215 m² a 1386 m² respectivamente.

En este proyecto se opta por un terreno con área aproximada 1215 m² la cual se divide entre 6 estaciones de carga o cargadores ubicadas en un centro de carga, cada una



ocupa un área destinada a la carga de 1 a 2 autobuses. El área mínima necesaria para una estación de carga es 202.5 m².

3.9. CÁLCULO DEL FACTOR DE DEMANDA.

En el cálculo de la demanda para las redes de BT y para los transformadores de distribución se considera el factor de demanda obtenido mediante:

$$C_I = \sum kW \text{ de c/u de los servicios instalados} \quad (3.1)$$

$$F_d = \frac{\text{carga máxima}}{\text{carga instalada}} = \frac{D_M}{C_I} \leq 1 \quad (3.2)$$

Donde:

C_I : Carga instalada = 492 kW.

D_M : Carga máxima = 480 kW.

F_d : Factor de demanda.

$$F_d = \frac{480}{492} = 0.976$$

El factor de demanda indica un consumo adecuado de las cargas debido a que es menor a la unidad, es decir la carga total instalada operaría sin que las cargas consuman sus potencias nominales. Por lo tanto, el transformador adecuado para satisfacer la demanda de un centro de carga es un transformador de capacidad 500 kVA.



3.10. CÁLCULOS DE LA ACOMETIDA EN MT.

La acometida de MT se proyecta para 15 años y sus datos característicos se calculan a partir de la red de distribución en MT de la empresa Centrosur. Los datos de la acometida en MT se refieren principalmente a la caída de tensión, pérdidas de potencia y energía, para lo cual es necesario determinar la demanda de diseño para un punto dado de la red mediante:

$$DM_p = DMU_p \text{ [kVA]} \quad (3.3)$$

Donde:

DM_p : Demanda de diseño (kVA).

DMU_p : Demanda máxima unitaria proyectada.

La central de carga se considera como un abonado tipo A debido a que requiere un área mayor a 400 m². El valor de la demanda máxima unitaria promedio proyectada (DMU_p) para MT se establece en 7,99 kVA de acuerdo a la *Tabla 3.13*, debido a que las estaciones de carga constituyen un solo cliente con carga constante o especial durante toda la noche. En las estaciones de carga la red en MT se proyecta a 15 años en el caso de la Centrosur.

Tabla 3.13. Abonados de sectores urbanos o centros cantonales [15].

Área Promedio de Lotes (m ²)	Cliente Tipo	DMUp (KVA) 10	DMUp (KVA) 15
A > 400	A	7,47	7,99
300 < A < 400	B	3,93	4,29
200 < A < 300	C	2,23	2,48
100 < A < 200	D	1,36	1,55
A < 100	E	0,94	1,09



Además, en el cálculo de la demanda de diseño se considera la demanda de iluminación y la demanda de las tomas adicionales, utilizando la expresión:

$$D = DM_p + I_{lum} + T_{adic} \quad (3.6)$$

Dónde:

D : Demanda de diseño (kVA).

I_{lum} : Carga de Iluminación (kVA).

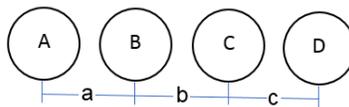
T_{adic} : Carga de tomas adicionales (kVA).

Los resultados se obtienen en una hoja de Excel mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$R = \frac{\rho * l}{A} \quad (3.7)$$

$$R_{50^{\circ}C} = R_{20^{\circ}C} \frac{T + t_2}{T + t_1} \quad (3.8)$$

Formación plana de los conductores



$$DMG = \sqrt[4]{a \cdot b \cdot c \cdot (a + b + c)} \quad (3.9)$$

$$RMG = \sqrt{a \cdot ra} \quad (3.10)$$



$$XL = 2\pi fL \quad (3.12)$$

$$L = 2 \times 10^{-4} \ln \frac{DMG}{RMG} \quad (3.11)$$

$$Z = \sqrt{r^2 + X_L^2} \quad (3.13)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{X}{R} \right) \quad (3.14)$$

$$S_L = n * \frac{\cos(\theta - \phi_e) - \sqrt{\cos^2(\theta - \phi_e) - Reg(2 - Reg)}}{Z} * V_e^2 \quad (3.15)$$

$$K_1 = \frac{100 * Reg}{S_L} \quad (3.16)$$

$$K_2 = \frac{N * r}{V_{eL}^2 \cos(\phi_e)} \quad (3.17)$$

$$\%P\u00e9rdidas = \left(\frac{N * r}{V_{eL}^2 \cos(\phi_e)} \right) * S_L \quad (3.18)$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * V_{eL}} * 1000 \quad (3.19)$$



Dónde:

R : Resistencia del conductor (Ohm).

ρ : Resistividad del conductor, aluminio = 2.82×10^{-8} , cobre = 1.72×10^{-8} (Ohm/km).

l : Longitud del conductor (km).

T : Temperatura del conductor ($^{\circ}\text{C}$).

t_1 : Temperatura inicial del conductor en corriente continua = 20 ($^{\circ}\text{C}$).

t_2 : Temperatura corregida del conductor = 50 ($^{\circ}\text{C}$).

Z : Impedancia por unidad de longitud (Ohm/km).

r : Resistencia por unidad de longitud (Ohm/km).

XL : Reactancia por unidad de longitud (Ohm/km).

D_{mg} : Diámetro medio geométrico (mm).

R_{mg} : Radio medio geométrico (mm).

θ : Ángulo de línea.

ϕ_e : \cos^{-1} (factor de potencia en el punto de envío).

S_L : Momento eléctrico (kVAm).

Reg : Regulación para el momento eléctrico (p.u) = 0.03.

V_e : Tensión en el extremo emisor entre línea y neutro (voltios).

V_{eL} : Tensión línea a línea (voltios).

k_1 : Constante de regulación del conductor.

k_2 : Constante de regulación de pérdidas del conductor.

N : Factor que depende del tipo de sistema para pérdidas = 100.

n : Factor que depende del tipo de sistema = 3.



En la *Tabla 3.14* se describe las líneas en MT que conectan el alimentador con el CS y el CS con el CT, en 2 tramos.

Tabla 3.14. Líneas de media tensión.

Línea	Tramo	Longitud (m)
Alimentador - CS	0 - 1	25
CS - CT	1 - 2	10

En la *Figura 3.22* se describe la red proyectada en MT para los 2 tramos.

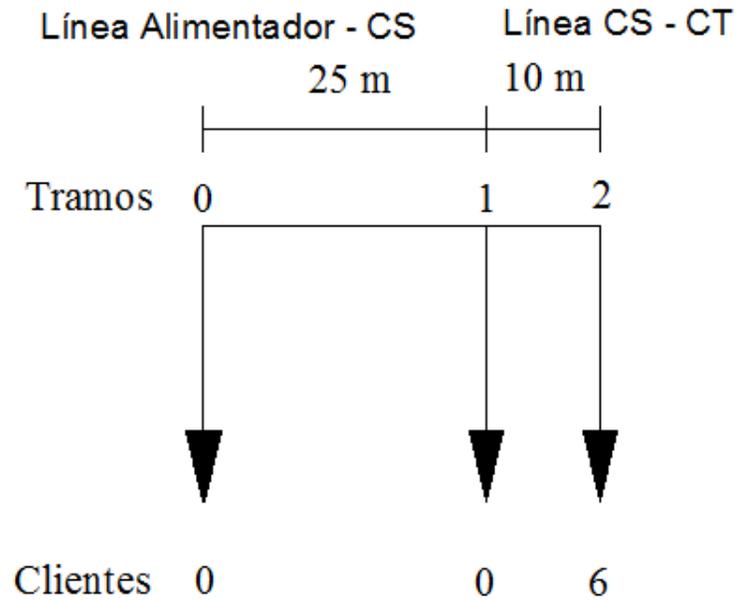


Figura 3.22. Red de media tensión.

Las *Tablas 3.15* y *3.16* especifican las características de la línea y de los conductores en MT respectivamente.

Tabla 3.15. Características de la línea en MT.

Tipo de sistema: Trifásico (3F-4H)	
Ve:	12701,71 V
VeL:	22000 V
Cos ϕ_e :	0,95
ϕ_e :	18,195



Tabla 3.16. Especificaciones de los conductores de MT.

Tipo de red: Primaria	
Conductor:	RHV AI
Temperatura ambiente:	40 °C
Temperatura de operación:	90 °C

Las Tablas 3.17 y 3.18 describen los valores de cálculo para los conductores usados en las redes de MT, se considera la corriente máxima admitida, la potencia a transportar y la caída de tensión. El tipo de conductor utilizado en las líneas es unipolar en MT, RHV AI, clase 25 kV, sección 240 mm² y sección 70 mm².

Tabla 3.17. Datos de los conductores.

Conductor	radio (ra)	Diámetro exterior	DMG	RMG (R)	XL	r	r
mm ²	mm	mm	mm	mm	Ω/km	Ω/km	Ω/km
						20 °C	50 °C
240	8,74039	38,8	51,0637	18,415402	0,0768976	1,18E-01	0,13171371
70	4,72035	30	39,4822	11,900019	0,0904259	4,03E-01	0,451589862

Tabla 3.18. Parámetros de los conductores para las líneas de MT.

TRAMO		Longit.	Conductor	Corriente admisible	r a 50 °C	XL	z	θ
Inicio	Fin	(m)	mm ²	A	Ω/km	Ω/km	Ω/km	
0	1	25	240	342	0,1317137	0,076897588	0,152518	30,2774
1	2	10	70	175	0,4515899	0,090425876	0,460554277	11,3231

En la Tabla 3.19 se especifica el cálculo del momento eléctrico, el factor de regulación k1, factor de pérdidas k2, % de pérdidas de potencia y la corriente máxima que admite el conductor utilizado en un tramo de la red en MT.

Tabla 3.19. Cálculo del momento eléctrico y pérdidas para las líneas en MT.

θ-φe	cos(θ-φe)	cos ² (θ-φe)	SL	Constante	Constante	%	Corriente máxima
			kVA _m	Regul k1	Regul k2	de Pérdidas	A
12,0823963	0,977847594	0,9561859	97427753,01	3,0792E-08	2,86459E-08	2,79090738	13,115
-6,8719044	0,992816133	0,9856839	31762510,73	9,4451E-08	9,82145E-08	3,11954148	5,24601



En las *Tablas 3.20 y 3.21* se realiza los cálculos de la demanda de diseño y de la caída de tensión utilizando los valores del momento eléctrico calculados en la *Tabla 3.18*.

Tabla 3.20. Cálculo de la demanda en MT.

TRAMO		Longitud	Nº	DEMANDA	Iluminación	Tomas adicionales	CONDUCTOR	
Inicio	Fin	(m)	Clientes	(kVA)	(kW)	(kW)	Nº fases	Calibres
		(A)	(B)	(C)	(D)	(E)		
0	1	25	1	7,99	2	10	3F4C	240
1	2	10	1	7,99	2	10	3F4C	70

Tabla 3.21. Cálculo de la caída de tensión en MT.

F.D.V.	kVAxm	CAÍDA DE TENSIÓN		(ΔV)
	(A)X[(C)+(D)+(E)]	Parcial	Acumulado	Máximos
(F)	(G)	(G)/(F)		
97427753	499,75	5,129E-06	5,12944E-06	
31762510,7	199,9	6,294E-06	1,1423E-05	1,1423E-05

El valor máximo de la caída de tensión es 1,1423 E-05, el cual es menor al límite del 3% permitido en el área urbana.

3.11. CÁLCULOS DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.

El transformador **seco** de 500 kVA instalado en el centro de transformación tienen una tensión nominal de 22 kV/440 V y una tensión de corto circuito del 4% Vcc recomendada por UNESA. La red que conecta el CS con el CT tiene una potencia de corto circuito de 100 MVA, correspondiente al sistema nacional.

3.11.1. CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR

La corriente del transformador en el primario y secundario se obtiene mediante:

$$I_P = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_P} \tag{3.20}$$

$$\tag{3.21}$$



$$I_S = \frac{S - W_{Fe} - W_{Cu}}{V_S}$$

Dónde:

S: Potencia aparente.

I_p : Corriente en el primario en A.

I_S : Corriente en el secundario en A.

V_p : Tensión en el primario en kV.

V_S : Tensión en el secundario en V.

W_{Fe} : Pérdidas en el hierro = 1.4 kW.

W_{Cu} : Pérdidas en el cobre = 5.7 kW.

Obteniéndose:

$$I_p = \frac{500}{\sqrt{3}(22)} = 13.12 \text{ A}$$

$$I_S = \frac{500 - 1.4 - 5.7}{\sqrt{3}(0.44)} = 646.764 \text{ A}$$

3.11.2. CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO

La corriente de corto circuito en el primario y secundario de los transformadores se obtiene mediante las siguientes ecuaciones:

$$I_{PCC} = \frac{S_{CC}}{\sqrt{3} \cdot V_P} \quad (3.22)$$

$$I_{SCC} = \frac{100 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot V_{CC} \cdot V_P} \quad (3.23)$$



Dónde:

I_{PCC} : Corriente de corto circuito trifásica en el primario en kA.

I_{SCC} : Corriente de corto circuito trifásica en el secundario en kA.

V_P : Tensión en el primario en kV.

V_{CC} : Tensión de corto circuito en el primario en % = 4.

$$I_{PCC} = \frac{100}{\sqrt{3}(22)} = 2.624 \text{ kA}$$

$$I_{SCC} = \frac{100(500)}{\sqrt{3}(4)(440)} = 16.402 \text{ kA}$$

3.11.3. PUENTES DE MT

Los puentes de MT que conectan la celda de protección del transformador con el transformador se componen de conductores unipolares en media tensión RHV Al, clase 25 kV, sección 70 mm².

3.11.4. PROTECCIONES DEL CT

Fusibles

Las condiciones que deben cumplir los fusibles del centro de transformación se definen con las siguientes ecuaciones:

$$I_b < I_n < I_z \quad (3.24)$$

$$I_F = 1.6 \cdot I_n \quad (3.25)$$

$$I_F < 1.45 \cdot I_z \quad (3.26)$$



Dónde:

I_b : Corriente nominal de la instalación.

I_n : Corriente nominal del fusible.

I_2 : Corriente que admite el conductor.

I_F : Corriente del fusible.

Obteniéndose:

$$13.12^1 < I_n < 457^2$$

$$I_F = 1.6(31.5) = 50.4 A$$

$$I_F < 1.45(457)$$

$$50.4 A < 622.65 A$$

La corriente válida para el fusible es de 31.5 A en base a tablas de selección para un transformador de 500 kVA.

Interruptor de alta tensión

El interruptor de alta tensión se define por la ecuación (3.24).

$$13.12^3 < I_n < 457^4$$

La corriente para el interruptor es de 31.5 A. En la *Tabla 3.22* se resume los cálculos de las características eléctricas para el fusible e interruptor.



Tabla 3.22. Características eléctricas de las protecciones.

Equipo de protección	Tensión asignada	Corriente asignada	Poder de corte
Fusible	24 kV	31.5 A	Mayor a 20 kA
Interruptor automático	24 kV	31.5 A	Mayor a 20 kA

3.12. CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN EN BT.

La instalación en BT se divide en varias secciones, por lo que se debe realizar los cálculos necesarios para su dimensionamiento mediante el mismo procedimiento de la red en MT. En BT, el valor de la demanda máxima unitaria promedio proyectada (DMU_p) se establece en 7,47 kVA de acuerdo a la *Tabla 3.13*. La red de BT se proyecta a 10 años en el caso de la Centrosur. En la *Tabla 3.23* se describe las líneas en BT para 3 tramos con la longitud de los conductores.

Tabla 3.23. Líneas en baja tensión.

Línea	Tramo	Longitud (m)
Interruptor transfo-armario	0 - 1	1
CGBT-Línea General	1 - 2	1
CGBT-Estaciones de carga	2 - 3	7

La *Figura 3.23* describe la red proyectada de BT en 3 tramos y el número de clientes.

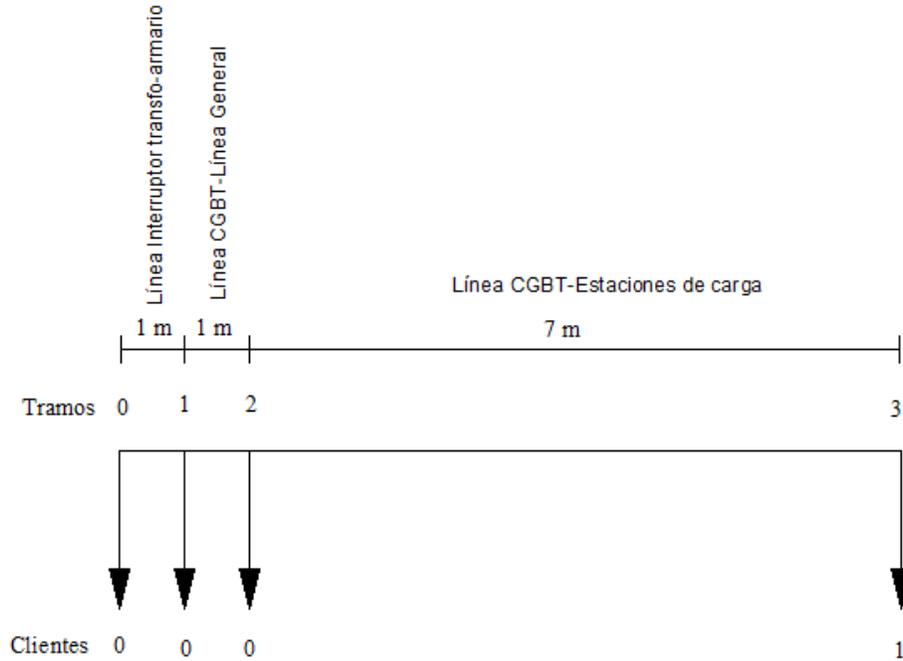


Figura 3.23. Red de baja tensión.

Las Tablas 3.24 y 3.25 especifican las características de las líneas en BT y de los conductores respectivamente.

Tabla 3.24. Especificaciones de las líneas en BT.

Tipo de sistema: Trifásico (3F-4H)	
Ve:	254,03 V
VeL:	440 V
Cos ϕ e:	0,95
ϕ e:	18,195

Tabla 3.25. Especificaciones de los conductores en BT.

Tipo de red: Primaria	
Conductor:	RV-K FOC
Temperatura ambiente:	40 °C
Temperatura de operación:	90 °C



Las *Tablas 3.26 y 3.27* describen los valores de cálculo para los conductores usados en la red de BT. La configuración del conductor RV-K FOC, 600/1000 V es: 3x2/0 + 1x2/0: CO-P3x2/2(2/0).

Tabla 3.26. Datos de los conductores.

Conductor	radio (ra)	Dexterior	DMG	RMG (R)	XL	r	r
AWG/kcmil	mm	mm	mm	mm	Ω /km	Ω /km	Ω /km
						20 °C	50 °C
2/0	4,6318556	16,5	21,715221	8,7421746	0,0686014	2,55E-01	0,286063
2/0	4,6318556	16,5	21,715221	8,7421746	0,0686014	2,55E-01	0,286063
2/0	4,6318556	16,5	21,715221	8,7421746	0,0686014	2,55E-01	0,286063

Tabla 3.27. Datos de los conductores para las líneas en BT.

TRAMO		Longitud	Conductor	Corriente admisible	r a 50 °C	XL	z	θ
Inicio	Fin	(m)	mm	A	Ω /km	Ω /km	Ω /km	
0	0	1	2/0	220	0,286063	0,068601412	0,2941737	13.485562
1	1	2	2/0	220	0,286063	0,068601412	0,2941737	13.485562
2	2	3	2/0	220	0,286063	0,068601412	0,2941737	13.485562

En la *Tabla 3.28* se especifica el cálculo del momento eléctrico, el factor de regulación k1, factor de pérdidas k2, % de pérdidas de potencia y la corriente máxima que admite el conductor utilizado en los tramos de la red en BT.

Tabla 3.28. Datos para el cálculo del Momento eléctrico y pérdidas.

$\theta - \phi_e$	$\cos(\theta - \phi_e)$	$\cos^2(\theta - \phi_e)$	SL	Constante	Constante	%	Corriente máxima
			kVA/m	Regul k1	Regul k2	de Pérdidas	A
-4,709438	0,996623876	0,9932592	19811,75429	0,0001514	0,0001597	3,0815558	25,547749
-4,709438	0,996623876	0,9932592	19811,75429	0,0001514	0,0001597	3,0815558	25,547749
-4,709438	0,996623876	0,9932592	19811,75429	0,0001514	0,0001597	3,0815558	178,83425

En las *Tablas 3.29 y 3.30* se realiza los cálculos de la demanda de diseño y de la caída de tensión utilizando los valores del momento eléctrico calculados en la *Tabla 3.28*.

Tabla 3.29. Cálculo de la demanda en BT.

TRAMO		Longitud	Nº	DEMANDA	Iluminación	Tomas adicionales
Inicio	Fin	(m)	Clientes	(kVA)	(kW)	(kW)
		(A)	(B)	(C)	(D)	(E)



0	1	1	1	7,47	2	10
1	2	1	1	7,47	2	10
2	3	7	1	7,47	2	10

Tabla 3.30. Cálculo de la caída de tensión en BT.

CONDUCTOR			kVAxm	CAIDA DE TENSION		(ΔV)
Nº fases	Calibres	F.D.V.	(A)X[(C)+(D)+(E)]	Parcial	Acumulado	Máximos
		(F)	(G)	(G)/(F)		
3F4C	2/0	19811,754	19,47	0,0009827	0,00098275	
3F4C	2/0	19811,754	19,47	0,0009827	0,0019655	
3F4C	2/0	19811,754	136,29	0,0068792	0,008844749	0,0088447

El valor máximo de la caída de tensión es 0,0088447, el cual menor al límite permitido del 3% en el área urbana.

3.12.1. CÁLCULO PARA LA INSTALACIÓN DE ESTACIONES DE CARGA.

Las derivaciones de BT hacia las estaciones de carga o cargadores requieren del conductor 1/0 para diferentes longitudes. Los cálculos de las derivaciones hacia las estaciones de carga se realizan siguiendo el procedimiento para la red en MT y BT. En la *Tabla 3.31* se describe las derivaciones hacia las estaciones de carga en BT para 6 tramos con la longitud de los conductores.

Tabla 3.31. Líneas de las estaciones de carga en BT.

Línea	Tramo	Longitud (m)
Estación de carga 1	2 - 1	8,75
Estación de carga 2	3 - 2	5,25
Estación de carga 3	0 - 3	1,75
Estación de carga 4	0 - 4	1,75
Estación de carga 5	4 - 5	5,25
Estación de carga 6	5 - 6	8,75

En la *Figura 3.24* se describe la red proyecta en BT para 6 tramos y el número de estación de carga o cargador.

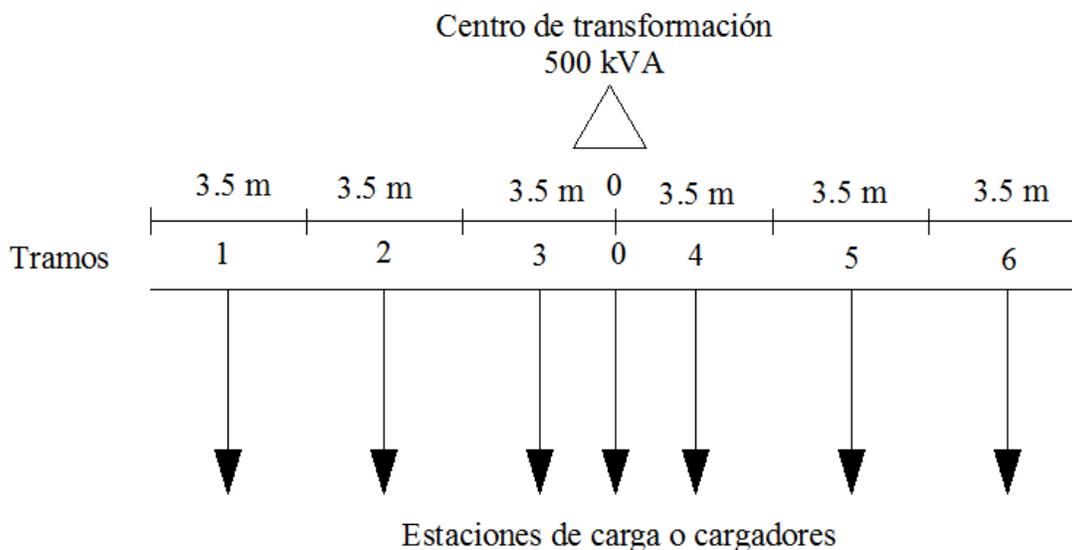


Figura 3.24. Red de las estaciones de carga o cargadores.

Las Tablas 3.32 y 3.33 especifican las características de las líneas y de los conductores para las estaciones de carga respectivamente.

Tabla 3.32. Especificaciones de las líneas para las estaciones de carga.

Tipo de sistema: Trifásico (3F-4H)	
Ve:	254,03 V
VeL:	440 V
Cos ϕ e:	0,95
ϕ e:	18,195

Tabla 3.33. Características de los conductores para las estaciones de carga.

Tipo de red: Primaria	
Conductor:	RV-K FOC
Temperatura ambiente:	40 °C
Temperatura operación:	90 °C

Las Tablas 3.34 y 3.35 describen los valores de cálculo para los conductores usados en las redes de las estaciones de carga. La configuración del conductor RV-K FOC, 600/1000 V es: 3x1/0 + 1x1/0: CO-P3x1/0(1/0).

Tabla 3.34. Datos de los conductores.

Conductor	radio (ra)	Dexterior	DMG	RMG (R)	XL	r	r
AWG/kcmil	mm	mm	mm	mm	Ω/km	Ω/km	Ω/km
1/0						20 °C	50 °C
53,5	4,126691	14,9	19,609503	7,8414091	0,0691097	3,21E-01	0,3603859
53,5	4,126691	14,9	19,609503	7,8414091	0,0691097	3,21E-01	0,3603859
53,5	4,126691	14,9	19,609503	7,8414091	0,0691097	3,21E-01	0,3603859
53,5	4,126691	14,9	19,609503	7,8414091	0,0691097	3,21E-01	0,3603859
53,5	4,126691	14,9	19,609503	7,8414091	0,0691097	3,21E-01	0,3603859
53,5	4,126691	14,9	19,609503	7,8414091	0,0691097	3,21E-01	0,3603859

Tabla 3.35. Datos de los conductores para las líneas de las estaciones de carga.

TRAMO		Longitud	Conductor	Corriente admisible	r a 50 °C	XL	z	θ
Inicio	Fin	(m)	mm	A	Ω/km	Ω/km	Ω/km	
0	3	1,75	1/0	193	0,3603859	0,06910969	0,3669525	10,855583
3	2	5,25	1/0	193	0,3603859	0,06910969	0,3669525	10,855583
2	1	8,75	1/0	193	0,3603859	0,06910969	0,3669525	10,855583
0	4	1,75	1/0	193	0,3603859	0,06910969	0,3669525	10,855583
4	5	5,25	1/0	193	0,3603859	0,06910969	0,3669525	10,855583
5	6	8,75	1/0	193	0,3603859	0,06910969	0,3669525	10,855583

En la *Tabla 3.36* se especifica el cálculo del momento eléctrico, el factor de regulación k_1 , factor de pérdidas k_2 , % de pérdidas de potencia y la corriente máxima que admite el conductor utilizado en un tramo de las líneas para las estaciones de carga.

Tabla 3.36. Cálculo del Momento eléctrico y pérdidas.

$\theta - \phi_e$	$\cos(\theta - \phi_e)$	$\cos^2(\theta - \phi_e)$	SL	Constante	Constante	%	Corriente máxima
			kVA	Regul k_1	Regul k_2	de Pérdidas	A
-7,339417	0,991806794	0,9836807	15961,991	0,0001879	0,0001959	3,1278094	17,153208
-7,339417	0,991806794	0,9836807	15961,991	0,0001879	0,0001959	3,1278094	51,459623
-7,339417	0,991806794	0,9836807	15961,991	0,0001879	0,0001959	3,1278094	85,766039
-7,339417	0,991806794	0,9836807	15961,991	0,0001879	0,0001959	3,1278094	44,708561
-7,339417	0,991806794	0,9836807	15961,991	0,0001879	0,0001959	3,1278094	51,459623
-7,339417	0,991806794	0,9836807	15961,991	0,0001879	0,0001959	3,1278094	85,766039

En las *Tablas 3.37* y *3.38* se realiza los cálculos de la demanda de diseño y de la caída de tensión utilizando los valores del momento eléctrico calculados en la *Tabla 3.36*.

Tabla 3.37. Cálculo de la demanda para las estaciones de carga.

TRAMO		Longitud	Nº	DEMANDA	Iluminación	Tomas adicionales
Inicio	Fin	(m)	Cientes	(kVA)	(kW)	(kW)
		(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
0	3	1,75	1	7,47	0	0
3	2	5,25	1	7,47	0	0
2	1	8,75	1	7,47	0	0



0	4	1,75	1	7,47	2	10
4	5	5,25	1	7,47	0	0
5	6	8,75	1	7,47	0	0

Tabla 3.38. Cálculo de la caída de tensión para las estaciones de carga.

CONDUCTOR			kVAxm	CAÍDA DE TENSIÓN		(ΔV)
Nº fases	Calibres	F.D.V.	(A)X[(C)+(D)+(E)]	Parcial	Acumulado	Máximos
		(F)	(G)	(G)/(F)		
3F4C	1/0	15961,99	13,0725	0,000819	0,000819	
3F4C	1/0	15961,99	39,2175	0,0024569	0,0032759	
3F4C	1/0	15961,99	65,3625	0,0040949	0,0073708	
3F4C	1/0	15961,99	34,0725	0,0021346	0,0095054	
3F4C	1/0	15961,99	39,2175	0,0024569	0,0119623	
3F4C	1/0	15961,99	65,3625	0,0040949	0,0160572	0,0160572

El valor máximo de la caída de tensión es 0,0160572, el cual es menor al límite del 3% permitido en el área urbana.

3.12.2. PROTECCIONES DE BAJA TENSIÓN

Las corrientes de la red en BT se obtienen a partir de la *Tabla 3.28*, donde la corriente admisible por el conductor 2/0 es 220 A, la cual se multiplica por 3 obteniéndose 660 A.

Interruptor transformador – Armario

La corriente máxima requerida en esta línea es 25.548 A.

$$25.548 < I_n < 660$$

La corriente asignada es $I_n = 100 A$ para el interruptor de corte de carga.

CGBT – Línea General

La corriente máxima requerida en esta línea es 25.548 A.

$$25.548 < I_n < 660$$

La corriente asignada es $I_n = 100 A$ para el interruptor de corte de carga.



CGBT – Estaciones de carga

La corriente máxima requerida en esta línea es 178.834 A.

$$178.834 < I_n < 660$$

La corriente asignada es $I_n = 200 A$, para los interruptores termomagnéticos se tiene:

$$I_2 = 1.6(200) = 320 A$$

$$320 < 1.45(660)$$

$$320 < 957$$

A los interruptores termomagnéticos se les asigna una corriente de 400 A.

Estaciones de carga

La corriente máxima requerida por las estaciones de carga es 85.766 A, la cual se necesita en las estaciones de carga 1 y 6, de acuerdo a la *Tabla 3.36*, donde la corriente admisible por el conductor 1/0 es 193 A la cual se multiplica por 3 obteniéndose 579 A.

$$85.766 < I_n < 579$$

La corriente asignada es $I_n = 100 A$, para los interruptores termomagnéticos se tiene:

$$I_2 = 1.6(100) = 160 A$$



$$160 < 1.45(579)$$

$$160 < 839.55$$

A los interruptores termomagnéticos de las estaciones de carga se les asigna una corriente de 200 A.

3.13. CÁLCULO DE LAS PUESTAS A TIERRA.

Los terrenos en los cuales se proyecta instalar los CTs y CSs tienen diferente resistividad. La resistencia para un solo electrodo del mallado depende de la resistividad del terreno, la cual se calcula mediante:

$$R_{pt} = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \tag{3.27}$$

Dónde:

R_{pt} : Resistencia de puesta a tierra en ohmios.

ρ : Resistividad del terreno.

L : Longitud de la varilla.

a : Radio de la varilla.

El número de electrodos que debe utilizarse en el sistema de puestas a tierra es igual al valor calculado para un electrodo dividido para el número de electrodos a utilizarse y multiplicado por el factor F de la *Tabla 3.39* de acuerdo a la guía IEEE Std. 142-2007. El número de electrodos debe ser al menos 9 con el objetivo de que la resistencia del sistema de puesta a tierra sea menor a 8 Ω .

Tabla 3.39. Factores multiplicadores para múltiples electrodos.

Número de electrodos	F
----------------------	---



2	1.16
3	1.29
4	1.36
8	1.68
12	1.80
16	1.92
20	2.00
24	2.16

Cada punto de conexión para el sistema de puestas a tierra debe ser independiente con el propósito de evitar que las fallas de uno causen distorsión o inconvenientes en los otros sistemas, cada punto de conexión debe conectarse a uno de los electrodos que componen el sistema.

En la *Figura 3.25* se muestra la conexión de los electrodos de la malla de puesta a tierra, para las cámaras de los CTs y CSs.

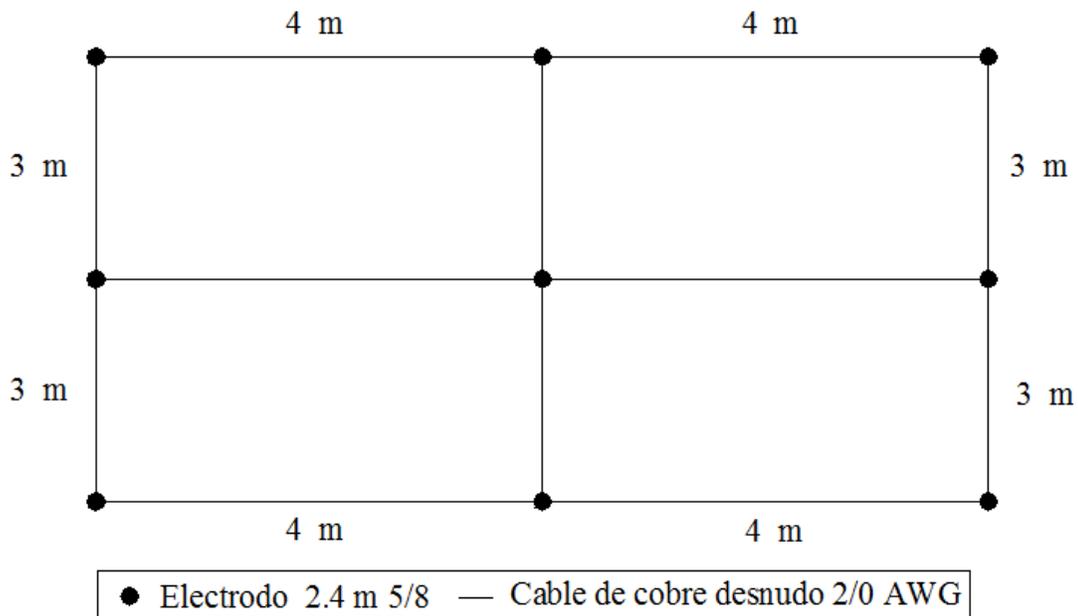


Figura 3.25. Malla de puesta a tierra.



3.14. PRESUPUESTO

En el cálculo del presupuesto se obtiene el costo de la infraestructura para un centro de carga que alimentaría de 6 a 12 autobuses, se multiplica este costo por 6 para obtener el costo total de la infraestructura necesaria para alimentar a una flota de 68 autobuses eléctricos. En el cálculo del presupuesto no se considera el costo de los lotes. En las *Tablas 3.40, 3.41, 3.42 y 3.43* se detallan los valores obtenidos mientras que la *Tabla 3.44* resume el costo por centro de carga y el costo total de la infraestructura de carga.

Tabla 3.40. Costos del centro de seccionamiento.

CENTRO DE SECCIONAMIENTO		Costo u.	Mano de obra (h)	Herramientas	Subtotal
EQUIPOS Y MATERIALES	Nº Unid.	\$	\$	\$	\$
Cabina prefabricada hormigón ECS-24	1	2845,5	19,24	161,08	3025,82
Celda RM6, 3 funciones de línea	3	2947,3	19,71	59,34	8920,86
Puestas a tierra, cable de 50 mm ²	1	1707,3	19,61	60	1786,91
Pararrayos tipo Franklin punta multiple	1	90	19,3	60	169,3
TOTAL		7590,1	58,56	280,42	13902,9

Tabla 3.41. Costos del centro de transformación.

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN		Costo u.	Mano de obra (h)	Herramientas	Subtotal
EQUIPOS Y MATERIALES	Nº Unid.	\$	\$	\$	\$
Cabina prefabricada hormigón EHC-4	1	3983,7	19,24	62	4064,94
Transformador seco de 500 kVA	1	14000	78,45	137,6	14216,1
Juego de puentes para conexión en MT	1	2000	19,61	100	2119,61
Cuadro BT, salida del transformador	1	1858,2	19,61	37,56	1915,35
Puestas a tierra, cable de 50 mm ²	1	1707,3	19,61	60	1786,91
Pararrayos tipo Franklin punta multiple	1	90	19,61	60	169,61
TOTAL		23639	156,52	397,16	24102,9

Tabla 3.42. Costos de los cuadros eléctricos.

CUADROS ELÉCTRICOS		Costo u.	Mano de obra (h)	Herramientas	Subtotal
EQUIPOS Y MATERIALES	Nº Unid.	\$	\$	\$	\$
Cuadro CGBT, armario metálico	1	1858,2	19,61	37,56	1915,35



Cuadro secundario de cargadores	1	1740,3	19,61	37,56	1797,42
Cuadro secundario de tomas adicionales	1	1252	19,61	37,56	1309,19
Cuadro secundario de iluminación	1	853,65	19,61	37,56	910,82
TOTAL		5704,1	78,44	150,24	5932,78

Tabla 3.43. Costos de los conductores.

CONDUCTORES	Longit.	Costo u.	Subtotal
MATERIALES	(m)	\$	\$
Conductor de MT RHV Al, 240 mm ²	25	21,08	527
Conductor de MT RHV Al, 70 mm ²	10	6,15	61,5
Conductor RV-K FOC, 2/0, 67,4 mm ²	12	14,08	168,96
Conductor RV-K FOC, 1/0, 53,5 mm ²	32	11,17	357,44
TOTAL		52,48	1114,9

Tabla 3.44. Costos totales por centro de carga y de la infraestructura de carga.

INFRAESTRUCTURA	Costo u.	Subtotal
	\$	\$
CENTRO DE SECCIONAMIENTO	13903	83417,34
CENTRO DE TRANSFORMACIÓN	24103	144617,16
CUADROS ELÉCTRICOS	5932,8	35596,68
CONDUCTORES	1114,9	6689,4
TOTAL	45053	270320,58



CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

Es importante que en el Ecuador y especialmente en la ciudad de Cuenca se establezca como opción de transporte permanente los autobuses 100% eléctricos por todos los beneficios que estos prestan, al ambiente y a la economía.

El autobús eléctrico no emana gases tóxicos ni emite ruido por lo tanto no hay contaminación ambiental y acústica lo que representa un gran beneficio al ambiente y a la salud de todo ser vivo. Por otro lado, el uso de autobuses eléctricos le evitaría al país la compra de diésel importado que es además subsidiado en el mercado interno.



Considerando estos aspectos, el autobús 100% eléctrico resulta el más eficiente y factible comparado con los autobuses a diésel que actualmente circulan en el medio. Sin embargo, para lograr esta implementación es necesario la infraestructura que permita el suministro de energía confiable para su carga, ubicada en lugares de fácil acceso y que permita su estancia durante el tiempo que esto requiera.

En este proyecto técnico se ha desarrollado el diseño de la infraestructura para un centro de carga de los autobuses 100 % eléctricos, considerando que la carga se realizaría en el horario de bajo consumo de 10 de la noche a 6 de la mañana, con el propósito de reducir el costo de la energía contratada para las cargas y el impacto en la red de distribución eléctrica.

La infraestructura de los centros de carga está diseñada con el propósito de que un cargador o estación de carga permita cargar 1 o 2 autobuses a 40 kWh durante un tiempo de 8 horas o 1 autobús a 80 kWh en un periodo de 4 a 5 horas.

La ubicación de los centros de carga, compuestos por 6 estaciones de carga c/u, podría realizarse en lotes o terrenos con capacidad para 12 autobuses debido a que las empresas del consorcio CONCUENCA disponen de flotas con un número considerable de unidades. La instalación de un centro de carga para 12 autobuses se realizaría de forma apropiada en un terreno con dimensiones 45 m de longitud por 27 m de ancho en un área aproximada de 1215 m². La instalación del centro de carga para 12 autobuses se considera como un cliente tipo A de acuerdo a la regulación de la Centrosur aun viniendo.

Un centro de carga para una flota de 68 autobuses podría instalarse de forma apropiada en un espacio con dimensiones 132 metros de largo por 48 metros de ancho en un área aproximada de 6336 m². En este caso, el terreno en donde se ubicaría el centro de carga podría utilizarse mejor si se colocan los centros de seccionamiento y los centros de transformación en cabinas subterráneas.

En este proyecto el centro de carga se alimenta desde una derivación directa de la red de distribución en media tensión de 22 kV con el objetivo de reducir las pérdidas, debido a

Wilder Lenin Alvear Muevecela



que la tensión debe transformarse en baja tensión a 440 V. Los centros de transformación se ubican en el centro para suministrar la energía a los cargadores en forma radial, con el propósito de reducir la longitud de los conductores y con esto disminuir las pérdidas de potencia en la red de baja tensión.

En este proyecto, el diseño de un centro de carga para autobuses 100% eléctricos permite alimentar a una flota promedio (68 autobuses) de las 7 empresas que dispone el consorcio CONCUENCA que da servicio de transporte público a la ciudad de Cuenca. En un futuro, el diseño podría servir de guía o modificarse de acuerdo a los requerimientos y recursos de las empresas del consorcio.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Peng, S. (s.f.). *Sound new energy*. Obtenido de <http://spanish.carlithiumbattery.com/sale-7715173-lifepo4-538v-160ah-electric-bus-battery-for-electric-city-bus-electric-pure-vehicles-long-cycle-time.html>
- [2] Abad Cano, R., Castelo, M. J., & Villatoro Palomar, D. (2017). *Guía de infraestructuras de carga de Vehículos Eléctricos*. Málaga: Fundación HABITEC.
- [3] ABB. (26 de Enero de 2017). *Värnamo apuesta por el cargador rápido de ABB*. Obtenido de <https://new.abb.com/low-voltage/es/noticias/varnamo-apuesta-por-el-cargador-rapido-de-abb>
- [4] AEC Solutions. (2 de Enero de 2018). *La EMT de Madrid pone en marcha la primera línea 100% eléctrica por carga inductiva*.
- [5] Amarilla, J. M. (2011). Baterías recargables avanzadas para vehículos eléctricos. En *Guía del Vehículo Eléctrico* (págs. 130-138). Madrid.



- [6] Andersson, M. (2014). *Energy storage solutions for electric bus fast charging stations*.
- [7] Arquitecsolar. (25 de Enero de 2016). *Arquitecsolar*. Obtenido de Tienda de instrumental de medida energética y medio ambiental: <http://blog.arquitecsolar.com/todo-sobre-la-recarga-de-coches-electricos-wallbox/>
- [8] AUBACH. (2018). *AUBACH*. Obtenido de <http://www.aubach.es/instalacion.html>
- [9] Audi A3 Sportback e-tron. (Junio de 2013). *Audi A3 Sportback e-tron*. Obtenido de http://fourtitude.com/news/Audi_News_1/audi-future-lab-tron-experience-the-audi-a3-sportback-e-tron/attachment/audi-a3-e-tron-etron-sportback-374/
- [10] Barrera Vidal, X. (2018). SISTEMAS DE TRANSPORTE ALTERNATIVO . *Foro de Ecociudades en Loja-Ecuador*, (págs. 15-22). Loja.
- [11] BYD. (2018). *Build Your Dreams*. Obtenido de <http://electromovilidad.org/wp-content/uploads/2017/05/Presentation-of-BYD-.pdf>
- [12] BYD. (2018). *BYD Worldwide*. Obtenido de <http://bydeurope.com/innovations/technology/index.php>
- [13] BYD. (2018). *INFOGRAFÍAS.CL* . Obtenido de <https://infografias.cl/buses-electricos-byd>
- [14] Cabal Ramos, N. (2017). Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. Madrid, España.
- [15] Centrosur. (2018). Obtenido de <http://www.centrosur.gob.ec/?q=revision>
- [16] Centrosur. (2018). *Geoportal*. Obtenido de <http://geoportal.centrosur.com.ec/geoportal/arcgisfroautocad.aspx>
- [17] CHAdeMO Association. (2018). *CHAdeMO Association*. Obtenido de http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu10_e/images/100315e1.pdf
- [18] Club Tesla España. (28 de Mayo de 2016). *Club Tesla España*. Obtenido de Tipos de conectores: <http://www.clubtesla.es/foro/puntos-de-recarga/guia-de-recarga-de-coches-electricos-para-primerizos-actualizado!!!/>
- [19] CONDUCE TU CIUDAD. (14 de Junio de 2017). *CONDUCE TU CIUDAD*. Obtenido de Tipos de conectores: <https://www.conducetuciudad.com/es/recarga-del-coche-electrico/tipos-de-conectores>
- [20] de Palacio, C., & Lébron, S. (2013). *CARGA ULTRA RÁPIDA DE AUTOBUSES ELÉCTRICOS, SOLUCIÓN INTELIGENTE PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES Y RUIDO EN EL TRANSPORTE PÚBLICO*. Ginebra.
- [21] Delzo Melendez, J. P. (2014). *PROCESOS DE RECARGA DE AUTOBUSES ELÉCTRICOS Y VIABILIDAD DE FUNCIONAMIENTO EN UNA*



RED DE TRANSPORTE URBANO DE SUPERFICIE 722-TES-CA-5882.
Barcelona.

- [22] e.motion. (2016). Unidad de control de carga inteligente. *e.motion*, 44-45. Obtenido de https://www.schneiderelectric.es/documents/local/productos-servicios/vehiculo-electrico/ESMKT03024L10_Trip_VE_baja.pdf
- [23] *EcoInventos*. (2018 de Febrero de 2018). Obtenido de <https://ecoinventos.com/madrid-estrena-su-primera-linea-100-electrica-de-autobuses-urbano-con-carga-por-induccion/>
- [24] El Tiempo. (31 de enero de 2018). Bus 100% eléctrico circula en la ciudad. *El tiempo*.
- [25] Electromovilidad. (2018). *Modos de recarga del vehículo eléctrico*. Obtenido de <http://electromovilidad.net/modos-de-recarga-del-vehiculo-electrico/>
- [26] FuturENERGY. (22 de mayo de 2018). *FuturENERGY*. Obtenido de <http://futureenergyweb.es/tag/autobuses-electricos/>
- [27] GAD Municipal de Cuenca. (2015). *Bases de un nuevo modelo de transporte público*. Cuenca.
- [28] García Martínez, F., & Gardy Germain, J. (2015). Efecto del vehículo eléctrico en la red de distribución eléctrica. En *Guía del vehículo eléctrico II* (págs. 41-56). Madrid.
- [29] General Cable. (2018). Obtenido de www.generalcable.com.ec
- [30] General Cable. (2018). *General Cable*. Obtenido de https://cdn.generalcable.com/assets/documents/LATAM%20Documents/Ecuador%20Site/Productos/media%20tension/HERSATENE-RHV-Commercial-sheet-V4_1.pdf?ext=.pdf
- [31] Gonzalez, L. (2018). Estudio de variables eléctricas en el proceso de carga de un autobús eléctrico K9FE de BYD., (págs. 1-16). Loja.
- [32] Google. (2018). *Vista satelital de Cuenca*. Obtenido de http://satellites.pro/mapa_de_Cuenca.Ecuador#-2.857999,-79.094105,17
- [33] Google Maps. (2018). *Google*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/Compa%C3%B1%C3%ADa+Cuencana+de+Transporte+Urbano+Comcuetu+S.A./@-2.8844106,-79.0434762,2922m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x91cd23d0770c806f:0x78a28e77fbdd3c38!8m2!3d-2.8867613!4d-79.042686?hl=es>
- [34] Grütter, J. (2015). *Rendimiento Real de Buses Híbridos y Eléctricos*.



- [35] Guía técnica de aplicación ITC-BT 52. (2017). *INSTALACIONES CON FINES ESPECIALES. INFRAESTRUCTURA PARA LA RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.*
- [36] Hernández, M., J. M., Iglesias González, & Nieves. (2015). Las infraestructuras de carga y el despliegue del vehículo eléctrico. Sevilla.
- [37] Ibáñez. (2012). Tipos de conectores, tipos de recarga y modos de carga. *Motorpasion.*
- [38] IBERDROLA. (2018). *DOC PLAYER.* Obtenido de CENTROS DE TRANSFORMACIÓN TECNOLOGÍA GENERAL DE INSTALACIONES DE GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y CLIENTES: <https://docplayer.es/41646983-Centros-de-transformacion-tecnologia-general-de-instalaciones-de-generacion-distribucion-y-clientes.html>
- [39] IEE3375 Mercados Eléctricos. (2014). Obtenido de http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno17/csp/Baterias_litio_flujo.html#
- [40] IEEE. (2007). *Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.*
- [41] INATRA S.A. (10 de julio de 2018). *INATRA TRANSFORMADORES.* Obtenido de file:///C:/Users/Wilder/Downloads/ArteSecosOut%20(5).pdf
- [42] INATRA S.A. (10 de julio de 2018). *INATRA TRANSFORMADORES.* Obtenido de <http://inatra.com/transformadores-secos/>
- [43] *Ingeniería en la Red.* (25 de Noviembre de 2016). Obtenido de <https://ingenieriaenlared.wordpress.com/2016/11/25/el-primer-punto-de-carga-ultrarrapida-por-pantografo-para-autobuses-electricos-se-instala-en-espana/>
- [44] Irizar. (2016). *Autobus 100% eléctrico.*
- [45] Jones, S. (14 de Septiembre de 2016). *Bus&Coach.* Obtenido de Europe's biggest all electric fleet: <https://www.busandcoachbuyer.com/europes-biggest-electric-fleet/>
- [46] Karlsson, E. (2016). *Charging infrastructure for electric city buses.*
- [47] Lara, G. (4 de febrero de 2013). *MOTORPASION.* Obtenido de <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/como-funciona-una-bateria>
- [48] León, J. d. (2013). *Guía del vehículo eléctrico para Castilla y León.* Junta de Castilla y León, Consejería de Economía y Empleo - Ente Regional de Energía de Castilla y León, Dirección General de Industria e Innovación Tecnológica.
- [49] Más que Eléctricos. (2018). *Más que Eléctricos.* Obtenido de <http://www.mqe.es/tipos-conectores-coche-electrico/>



- [50] MEER. (2013). *Plan Maestro de Electrificación 2013-2022*.
- [51] Ministerio de Economía, Industria, & Competitividad. (2017). *Guía técnica de la aplicación ITC-BT 52. INSTALACIONES CON FINES ESPECIALES. INFRAESTRUCTURA PARA LA RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS*.
- [52] Osses, M. (2013). Buses eléctricos e híbridos: riesgos tecnológicos y requerimientos de capacitación. *Taller: Buses cero y bajas emisiones para el SIPT de Bogotá*, (págs. 5-25). Bogotá.
- [53] Paloma Rodríguez, S., & Chacón Guadalix, J. J. (2015). Introducción a las baterías recargables para vehículos eléctricos. En *Guía del Vehículo Eléctrico II* (págs. 123-129). Madrid.
- [54] PROCITEL S.A. (2018). *PROCITEL S.A.* Obtenido de <http://www.procitel.com.ec/es/productos/51/pararrayos-tipo-franklin>
- [55] Rodríguez García, Marrón, & J. M. (2015). ITC BT-52 del REBT sobre las infraestructuras de recarga. En *Guía del Vehículo Eléctrico II* (págs. 96-99). Madrid.
- [56] Schneider Electric. (2008). *Centros de Transformación 24 kV MT/BT*. Barcelona.
- [57] Schneider Electric, S. (2008). *Guía de diseño de instalaciones eléctricas*. Barcelona.
- [58] Silva, J. (2018). El uso de vehículos eléctricos en la transportación pública de la Ciudad de Guayaquil. *Foro de Ecociudades en Loja Ecuador*, (pág. 3). Loja.
- [59] Terrón Alonso, J. Á. (2015). Vehículos eléctricos para transporte de ciudadanos. En F. d. Madrid, *Guía del Vehículo Eléctrico II* (págs. 238-242). Madrid.
- [60] The Wallbox Store. (2015). *The Wallbox Store*. Obtenido de <http://wallbox.eu/es/info/tipos-de-conectores-de-vehiculos-electricos.html>
- [61] UNE - EN 61851-1. (2001). *Modos y conexiones*.
- [62] Wallbox. (2016). *Wallbox*. Obtenido de Los tipos de conector del vehículo eléctrico: <https://www.wallbox.com/es/blog/5/los-tipos-de-conector-del-vehiculo-electrico.html>
- [63] YUASA. (11 de abril de 2018). *Funcionamiento de las baterías*. Obtenido de <https://www.yuasa.es/informacion/automocion-comercial-servicios-nautica/funcionamiento-de-las-baterias/>



ANEXO I. Especificaciones técnicas del autobús BYD, modelo K9.



Build Your

Especificaciones del bus urbano (piso bajo) K9FE

Dimensiones	
Largo x ancho x alto	12000×2550×3360 mm
Altura en la entrada	350 mm/350 mm
Ángulo de aproximación / salida	7°/7°
Numero de Puertas	2
Radio de giro	≤12m
Peso en vacío	≤13850kg
Max. Peso	≤18000kg
Asientos	29 asientos + 1 del conductor
Capacidad total de pasajeros	80 pasajeros
Rendimiento	
Rango de operación	≥250 km
Velocidad máxima	69km/h
Tiempo de aceleración 0 ~ 40km / h	≤22s
Gradeabilidad	18%
Motor	BYD AC motor sincrono (Sin escobillas)
Modelo de motor	BYD-2912TZ-TZ-A
Potencia Maxima de motor	150 kW×2
Torque Maximo	550 N·m×2
Carga y Bateria	
Capacidad de la batería	276.5 kWh
Potencia de carga	40kW×2
Modelo del arma de carga	AC estándar Europeo
Tiempo de carga	4-5h
Cantidad de la pistola de carga	2 pistolas
Tensión de carga y frecuencia	440V, 60Hz

BYD E-MOTORS ECUADOR
BYD E-MOTORS ECUADOR

ANEXO II. Características de las celdas RM6.

Presentación
(continuación)



Celdas compactas
gama RM6

Descripción de la celda RM6

RM6 es una celda de reducidas dimensiones compuesta de 1 a 6 unidades funcionales integradas.

Este conjunto monobloque con aislamiento integral incluye:

- Una envolvente metálica de acero inoxidable, estanca y sellada de por vida, que contiene las partes activas, el interruptor seccionador, el seccionador de tierra, el interruptor combinado con fusibles o el interruptor automático.
- De uno a cuatro compartimentos para cables con pasatapas de conexión.
- Un compartimento de baja tensión.
- Un compartimento de mando.
- Un compartimento de fusibles para la función Q (interruptor combinado con fusibles).

La celda compacta RM6 responde a la definición de "sistema a presión sellado", conforme con la recomendación IEC.

El interruptor seccionador y el seccionador de tierra ofrecen todas las garantías de maniobra para el usuario:

● **Estanqueidad.**

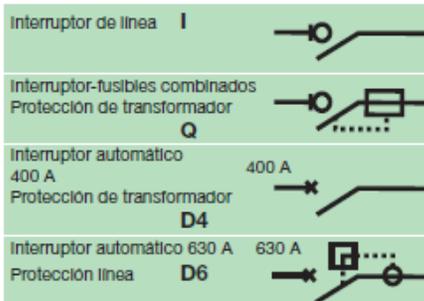
La envolvente está llena de SF6 a una presión relativa de 0,2 bares y queda sellada de por vida después del llenado. Su estanqueidad se verifica sistemáticamente en fábrica y otorga al aparato una esperanza de vida útil de 30 años. Por lo tanto, la celda RM6 no requiere ningún mantenimiento de las partes activas.

● **Corte del interruptor seccionador.**

La extinción del arco eléctrico se obtiene aplicando la técnica de autosoplado de SF6.

● **Interruptor automático.**

La extinción del arco eléctrico se obtiene aplicando la técnica del arco giratorio, acompañada de autoexpansión de SF6, lo que provoca el corte de cualquier intensidad hasta la intensidad de cortocircuito.



Elección de las funciones

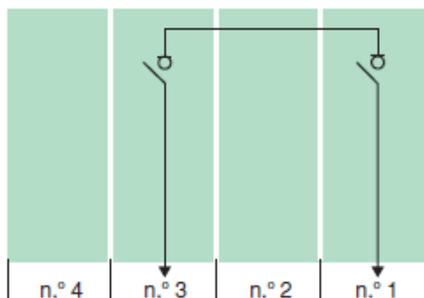
La gama ofrece al usuario un abanico de combinaciones de RM6 **no extensible** con 1, 2, 3, 4, 5 y 6 unidades funcionales.

Se adapta a todas las necesidades y permite elegir la protección del transformador:

- Interruptor seccionador combinado con fusibles.
- Interruptor automático 400 A.

También permite proteger las líneas de bucle MT con un interruptor automático de 630 A.

La mayoría de estos aparatos también existe en versión **extensible por la derecha o totalmente extensible (ambos lados)** para cuando se prevea una ampliación futura de la red.

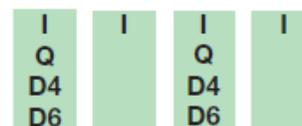


Denominación de las celdas

Tipo de celda

- DE: extensible por la derecha
- TE: módulo totalmente extensible (por la derecha y por la izquierda)

Configuración de las funciones



Configuración de las funciones

- RM6.2IQ
- RM6.2IQ (DE)

ANEXO III. Dimensiones para el centro de maniobra monobloque.

Instalación

Centro de maniobra monobloque
24 kV serie ECS-24

Instalación

Para la instalación del ECS-24 se requiere haber realizado previamente una excavación en el terreno de dimensiones:

- Longitud: 2.200 mm.
- Ancho: 2.440 mm.
- Profundidad total: 775 mm.

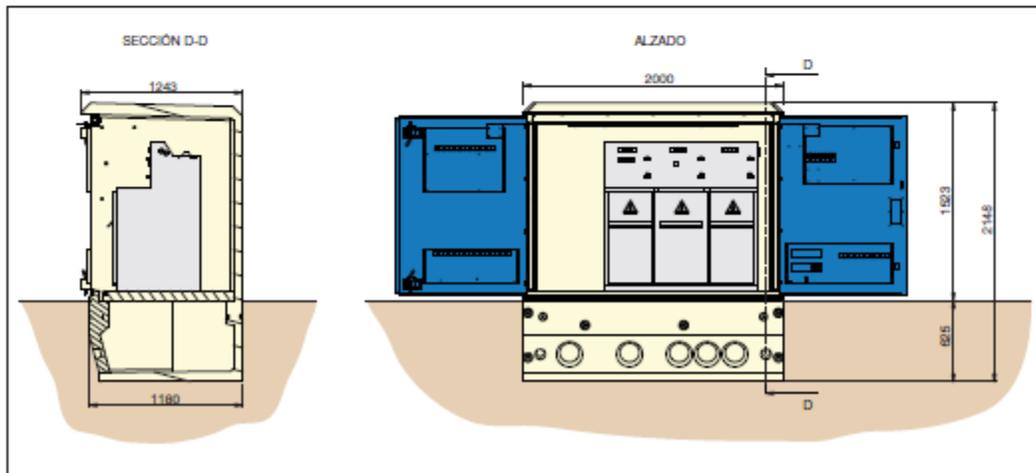
En el fondo de ésta se debe disponer de un lecho de arena lavada y nivelada de 150 mm de espesor. El montaje del ECS-24 se realiza en fábrica; por lo que en obra se deberá prever:

- El fácil acceso de un camión grúa 24 tm (ancho del camino superior a 3 m).
- La zona de ubicación del ECS-24 debe estar libre de obstáculos que impidan su descarga y su montaje.

El emplazamiento del ECS-24 se debe realizar por personal especializado, ya que para ello se requieren unos útiles específicos y unas eslingas adecuadas.

Dimensiones y peso

Dimensiones exteriores		Pesos	
● Longitud (mm):	2.000	● Peso vacío:	3.050 kg
● Ancho (mm):	1.243	● Peso con un esquema 1I:	3.181 kg
● Altura total (mm):	2.147	● Peso con un esquema 3I:	3.286 kg
● Altura vista (mm):	1.523	● Peso con un esquema 4I:	3.366 kg





ANEXO IV. Especificaciones técnicas del transformador.



HOJA DE DATOS TÉCNICOS (TRANSFORMADORES TIPO SECO CLASE H) TRIFÁSICO			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	GARANTIZADO
1	PROVEEDOR / FABRICANTE		INATRA S.A.
2	PAIS DE FABRICACION		Ecuador
3	NORMAS APLICABLES		IEEE Std. C57.12.01 IEEE Std. C57.12.91 IEC 60076-11 NTC 3445 NEMA TR 1
4	TIPO		Seco Abierto
CONDICIONES DE SERVICIO			
5.1	Servicio		Continuo
5.2	Montaje		Interior @ 3000 m.s.n.m.
CARACTERISTICAS ELECTRICAS			
6.1	Número de fases		3
6.2	Frecuencia:	Hz	60
6.3	Potencia nominal:	KVA	Según lo solicitado
6.4	Conexión		
6.4.1	Primario (bobinado de BAJA TENSION I)		Delta
6.4.2	Secundario (bobinado de BAJA TENSION II)		Estrella con acceso al neutro
6.4.3	Grupo de conexión		Dyn5
6.5	Tensiones nominales de línea:		
6.5.1	Bobinado primario	V	Según lo solicitado
6.5.2	Bobinado secundario	V	Según lo solicitado
6.6	Nivel de aislamiento nominal:		
6.6.1	Bobinado primario	kV	1,2
6.6.2	Bobinado secundario	kV	1,2
6.7	B.I.L.		
6.7.1	Primario	KV pico	IEEE Std. C57.12.01 IEC 60076-11 NTC 3445
6.7.2	Secundario	KV pico	IEEE Std. C57.12.01 IEC 60076-11 NTC 3445



6.9	Impedancia de cortocircuito (Máx)	%	IEEE Std. C57.12.01 IEC 60076-11 NTC 3445
6.10	Corriente de excitación (Máx)	%In	IEEE Std. C57.12.01 IEC 60076-11 NTC 3445
6.11	Nivel de Ruido Máximo	dB	NEMA TR1
7	REFRIGERACION Y MATERIAL AISLANTE		
7.1	Refrigeración:		AN
7.2	Material aislantes:		
7.2.2	Papel aislante		
	a) Normas aplicables		UL 1446
	b) Tipo		NMN
	c) Clase de aislamiento		H
8	GENERALIDADES		
8.1	Clase térmica de arrollamientos		H
8.2	Material utilizado en las bobinados:		
8.2.1	Primario		COBRE ó ALUMINIO
8.2.2	Secundario		COBRE ó ALUMINIO
8.3	Disposición de los bobinados		Baja tensión/Baja tensión
8.4	Características del acero al silicio (Núcleo):		
8.4.1	Identificación de la chapa		Grano Orientado
8.4.2	Inducción máxima	T	1,65
8.4.3	Espesor de la chapa	mm	0,27
8.4.4	Construcción		Laminado en frío, tipo toroide EVANS
8.5	Características del Encherramiento		
8.5.1	Grado de protección		IP 21
8.5.2	Entrada/Salida de cables / Señales		Ducto lateral
8.6	Espesores de pintura:		
8.6.1	Fondo epóxico (protección corrosión)	mils	3 (Mínimo)
8.6.2	Pintura de Poliuretano (Acabado)	mils	2 (Mínimo)
8.8	Regulación sin carga, bobinado primario por medio de puentes aislados		
8.8.1	Gama de regulación expresada en %	%	+/-2 x 2,5%
8.8.2	Posición nominal del cambiador de derivaciones (TAP principal)		3
8.9	Terminales de Conexión (COBRE)		
8.9.1	Primario		Pala/Espada
8.9.2	Secundario		Pala/Espada
9	ACCESORIOS		
9.1	Conector de Derivación a Tierra del Tanque	PCS	1
9.2	Placa de características en acero inoxidable, marcación indeleble.	PCS	1

DIR.: KM. 10.5 VÍA DAULE // PBX: (593+4) 3702700 // E-MAIL: VENTAS@INATRA.COM // GUAYAQUIL - ECUADOR

inatra.com

ANEXO V. Características de las celdas SM6.



Presentación

La gama SM6-24 está compuesta por celdas modulares equipadas con aparataje fijo, bajo envolvente metálica, que utiliza el hexafluoruro de azufre (SF₆) como aislante y agente de corte en los aparatos siguientes:

- Interruptor-seccionador.
- Interruptor-automático Fluarc SF1.
- Seccionador.
- Seccionador de puesta a tierra.
- Contactor ROLLARC.

La gama SM6-24 responde, en su concepción y fabricación, a la definición de aparataje bajo envolvente metálica compartimentada, de acuerdo con la norma UNE-EN 62271-200.

Las celdas SM6-24 permiten realizar la parte MT de los centros de transformación MT/BT de distribución pública y privada hasta 24 kV.

Además de sus características técnicas, SM6 aporta una respuesta a las exigencias en materia de seguridad de las personas, facilidad de instalación y explotación.

Las celdas SM6-24 están concebidas para instalaciones de interior (IP2XC según norma UNE 20324 o IEC 60529), beneficiándose de unas dimensiones reducidas:

- Anchuras de 375 mm (celdas de interruptor) a 750 mm (celdas de interruptor automático).
- Altura de 1.600 mm.
- Profundidad a cota cero de 840 mm.

Lo que permite su ubicación en un local de dimensiones reducidas o en el interior de un edificio prefabricado de hormigón.

El grado de protección, según UNE 20324 o IEC 60529, de la envolvente externa, así como para los tabiques laterales de separación de celdas en la parte destinada a la colocación de los terminales de cables y fusibles, es IP2XC. Para grados de protección IP3X, consultar.

Para el resto de compartimentos es IP2X.

En lo referente a daños mecánicos, el grado de protección es "7" (UNE 20324 o IEC 60529).

Los cables se conectan desde la parte frontal de las celdas.

La explotación está simplificada por la reagrupación de todos los mandos sobre un mismo compartimento frontal.

Las celdas pueden equiparse con numerosos accesorios (bobinas, motorización, contactos auxiliares, transformadores de medida y protección, etc.).

La pintura utilizada en las celdas es RAL 9002 (blanco) y RAL 9030 (negro).

Normas

Las celdas de la gama SM6-24 responden a las siguientes recomendaciones, normas y especificaciones:

- Normas internacionales: IEC 60298, 62271-102, 60285, 62271, 60694, 62271-105.
 - Normas españolas: UNE-EN 60298, IEC 62271-102, 60285-1, 60694, 62271-100.
- Se ruega consultar cualquier otro tipo de normativa (UTE, HN, etc.).

Denominación

Las celdas SM6-24 se identifican por:

- La designación de la función: IM - QM - DM1 - SM...
- La intensidad asignada de la celda: 400 o 630 A.
- La tensión asignada: 7,2 - 12 - 24 kV.
- El valor de la intensidad asignada de corta duración admisible: 12,5 - 16 - 20 - 25 kA/1 s.

Ejemplo

Por una celda **IM 400 - 24 - 16**:

- **IM** designa una celda de línea.
- **400**, la intensidad asignada es de 400 A.
- **24**, la tensión asignada es de 24 kV.
- **16**, la intensidad asignada de corta duración admisible es de 16 kA/1 s.

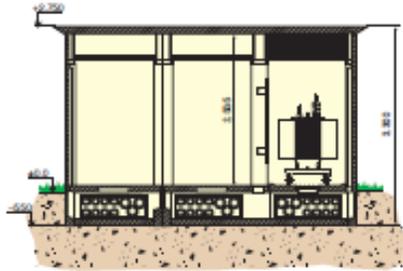


ANEXO VI. Dimensiones del Edificio prefabricado serie EHC-4.

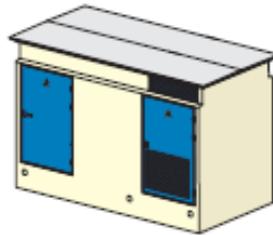
Planos y dimensiones EHC-4

Edificios prefabricados de hormigón serie EHC

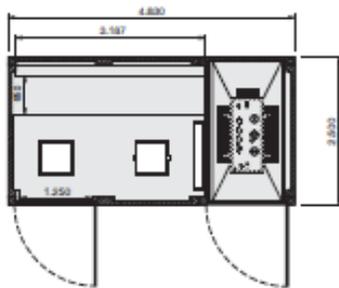
Sección EHC-4 T1D



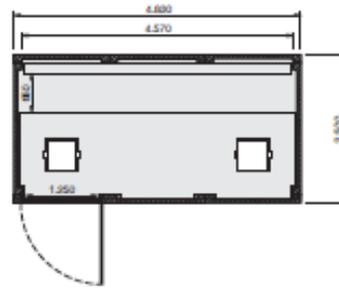
Perspectiva EHC-4 T1D



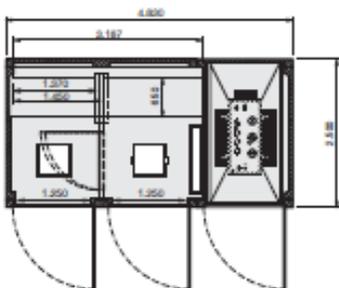
Planta EHC-4 T1D



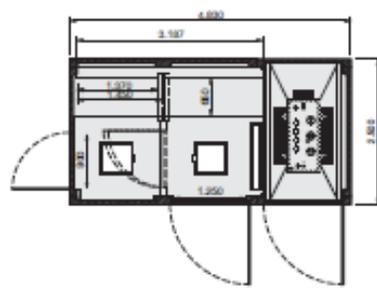
Planta EHC-4 S



Planta EHC-4 T1D PF



Planta EHC-4 T1D PL





ANEXO VII. Condiciones de instalación del cargador EVA 080KI.

Table 2.1 environment and conditions for installation of the Charging Box

Installation environment	Indoor/outdoor
Atmosphere pressure	80 kPa ~ 110 kPa
Air flow speed	7,000 m ³ /h
Maximum altitude	≤2,000 m
Wall surface evenness	≤0.25%
Wall surface gradient	≤5°
Vertical gradient of the Charging Box	≤5°
Minimum distance from Charging Box to ground	≥110 cm
Minimum distance from both sides to a Charging Box	≥50 cm
Concrete requirement for wall surface and foundation	Strength grade of concrete should be above C30#
Load bearing for installation on wall surface (wall-mounted)	≥55 kg
Requirements for foundation (when it is required to mount bracket)	Concrete base dimension≥1m*1m; Buried depth≥0.5m
Load bearing for unit area (when it is required to mount bracket)	≥2000 kg/m ²

For the safe operation of Charging Box, the installation site must meet the following conditions:

- ▲ The installation location must be accessible at any time;
- ▲ The Charging Box shall not be installed in places where there is severe vibration or explosive exists, such as inflammable gases, vapor or dust.
- ▲ The Charging Box shall not be installed in places which are low-lying or easily waterlogged.
- ▲ With good ventilation.
- ▲ The installation location shall ensure convenience to observe indicators and operate.
- ▲ The installation place shall be clean.

2.4.2 Cable installation

● Installation requirement

- 1) The charging box with three-phase input voltage, shall apply Three-phase Five-Wire System (TN-S) to its supply power; for the charging box with single-phase input voltage, the supply power shall be connected to L, N, and PE (in case of US single-phase 240 V, to L1, L2 and PE respectively). Cable color shall comply with the requirements of local standards.
- 2) The charging box shall be equipped with an independent distribution circuit without sharing it with other electrical products.
- 3) The input cable of the charging box shall be copper strand and the terminals shall be crimped as is required. (for detailed information, please refer to Attachment 1.)
- 4) To meet the requirements of protection class, the form of input cable entry of charging box shall be limited to the following two options:
The input cable shall use type EVE or type EVT.

Table 2.3 List of multi-core cable requirements

Model	Cable conductor	Cable diameter	In pipe or NOT	Pipe diameter	Remark
EVA080K	35mm ² *5	42mm-48mm	Not obligatory	—	Use 75mm wrench to tighten the External pressure type cable fixed head
EVA040K	16mm ² *5	32mm-38mm	Not obligatory	—	Use 62mm wrench to tighten the External pressure type cable fixed head.
EVA020K	16mm ² *5	32mm-38mm	Not obligatory	—	
EVA015K	16mm ² *3	No	Yes	32mm-38mm	Use 62mm wrench to tighten the External pressure type cable fixed head.
EVA007K	6mm ² *3	No	Yes	32mm-38mm	

In the case of using single-core copper strand wire, the wire shall be in pipe, and the pipe diameter is as follows:

Table 2.4 List of single-core cable requirements

Model	Cable conductor	Cable diameter	In pipe or NOT	Pipe diameter	Remark
EVA080K	35mm ² *5	No	Yes	42mm-48mm	Use 75mm wrench to tighten the External pressure type cable fixed head
EVA040K	16mm ² *5	No	Yes	32mm-38mm	
EVA020K	16mm ² *5	No	Yes		
EVA015K	16mm ² *3	No	Yes		
EVA007K	6mm ² *3	No	Yes		

Note: the power input lines need to be crimped with tube type insulated terminals or copper terminals.

WARNING!

- ▲ During installation, do not alter any part in the Charging Box except the connecting terminal.
- ▲ Please ensure reliable input earthing to avoid electric shock.
- ▲ It is required that the torque is 3.5~4.5N · m when connecting the power input cable to the terminal of the Charging Box.

Installation method:

- 1) Connect the cables equipped in the Charging Box to the circuit breaker in the control box, and make sure the corresponding phase lines are correctly connected. Please refer to fig.2.5 and fig.2.6.
- 2) For the three-phase input power Charging Box, connect the wiring harness of Phase A (L1) / Phase B (L2) / Phase C (L3) / N in the power grid to the circuit breaker of the control box, while PE (yellow & green) is directly connected to the earthing terminals inside the control box, as is shown in fig.2.5 and fig.2.6.
- 3) For the single-phase input power Charging Box, connect the wiring harness of L, N, and PE(L1, L2, PE in the model EVA015KS/01) to the circuit breaker of the control box, as is shown in fig.2.5 and fig.2.6.

WARNING!

- ▲ The input wire harness of the Charging Box must be connected correctly. The phase sequence should be in compliance with that marked on the input line of the Charging Box.
- ▲ To avoid any over-heating, burning accidents and other phenomena due to poor contact, the cable and wire harness connection should be firm and reliable, also the screw should be tight.
- ▲ Notice its I-direction when install the residual current circuit breaker.

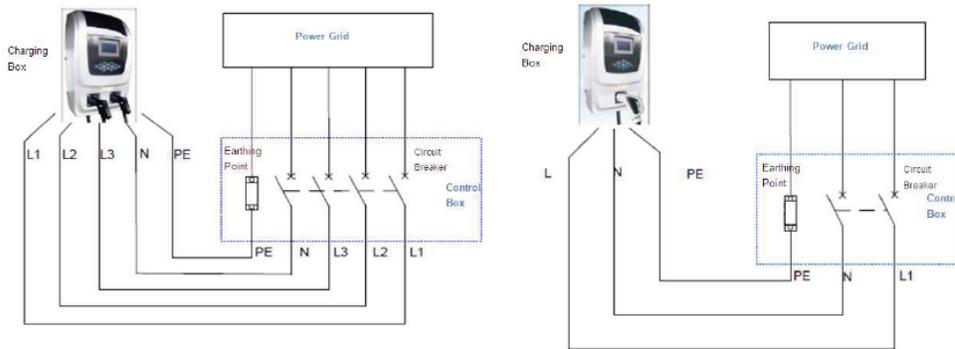
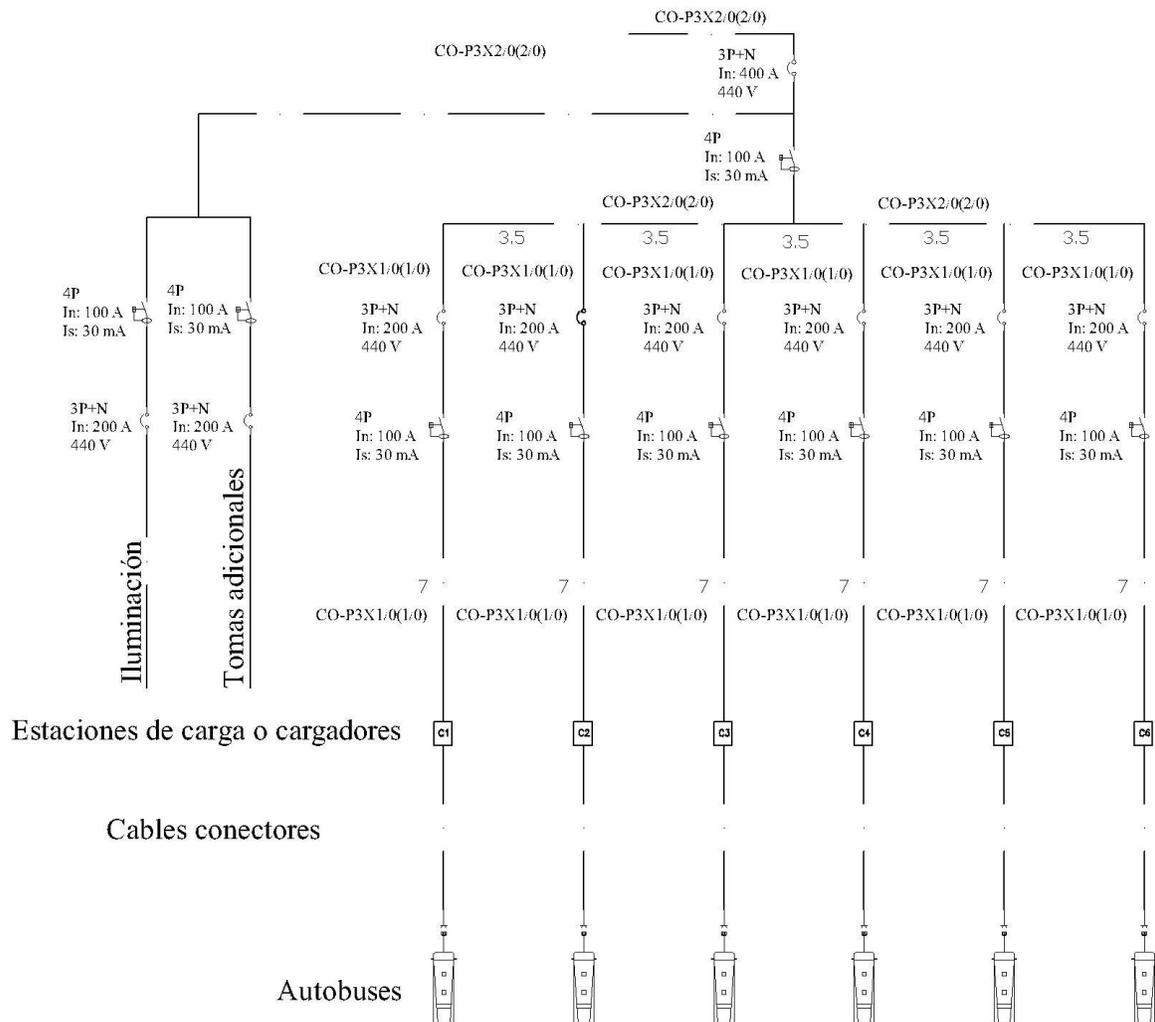


Fig. 2.5 Schematic diagram of cable connection



PLANOS

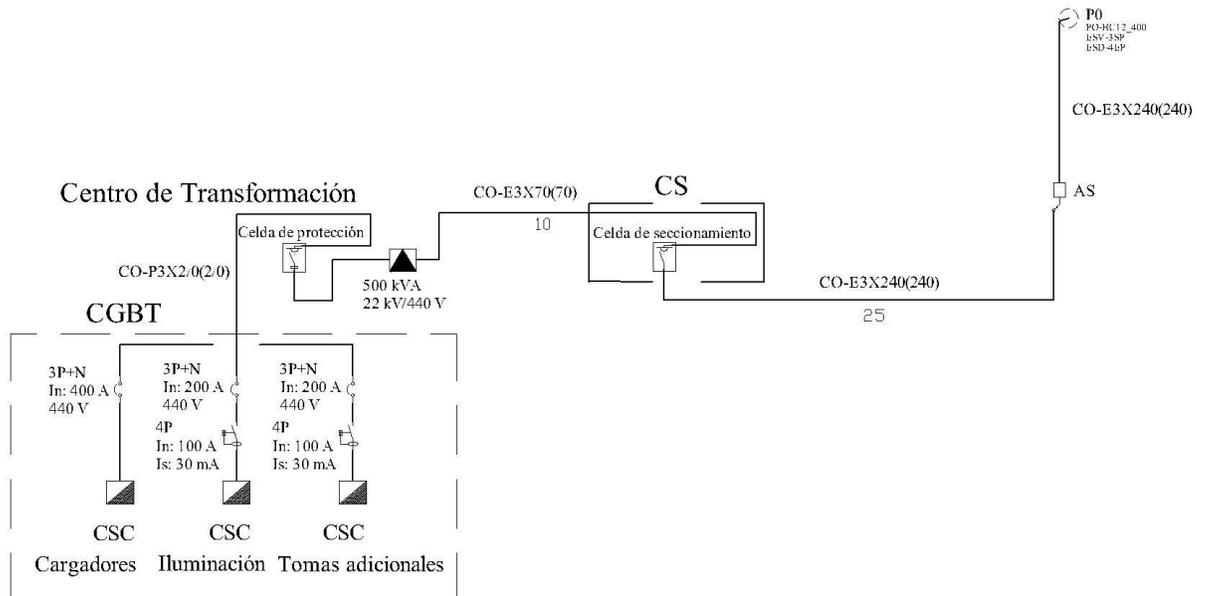
CUADRO SECUNDARIO DE LAS ESTACIONES DE CARGA O CARGADORES



SIMBOLOGÍA

	Interruptor diferencial
	Seccionador por medio de interruptor termomagnético
	Toma de corriente
	Carga
	Estación de carga o cargador
	Línea de baja tensión proyectada
CO-P3X1:0(1:0)	Conductor 600/1000 V, 3x1/0 + 1x1/0
CO-P3X2:0(2:0)	Conductor 600/1000 V, 3x2/0 + 1x2/0
3,5	Distancia (m) entre las estaciones de carga
7	Longitud (m) entre Línea CGBT-Estaciones de carga

ESQUEMA UNIFILAR DEL CENTRO DE CARGA



SIMBOLOGÍA

	Poste de alimentación en media tensión
	Transición de red aérea a subterránea
	Celda de seccionamiento
	Transformador trifásico seco
	Celda de protección
	Cuadro de distribución secundaria
	Interruptor diferencial
	Seccionador por medio de interruptor termomagnético
	Línea de media tensión proyectada
CO-E3X240(240)	Conductor aislado de media tensión de aluminio, 25 kV, 3x240 mm ² + 1x240 mm ²
CO-E3X70(70)	Conductor aislado de media tensión de aluminio, 25 kV, 3x70 mm ² + 1x70 mm ²
	Línea de baja tensión proyectada
CO-P3X2/0(2/0)	Conductor 600/1000 V, 3x1/0 + 1x1/0
25	Longitud (m), Línea Alimentadro-CS
10	Longitud (m), Línea CS-CT