

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD



TEMA:

DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA EL SUMINISTRO ENERGÉTICO DE
UNA ELECTROLINERA EN LA CIUDAD DE IBARRA

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

AUTOR:

Chauca Tipantasi Bryan Estalin

DIRECTOR:

PhD. Gerardo Isaías Collaguazo Galeano

Ibarra, 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0604212175		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Chauca Tipantasi Bryan Estalin		
DIRECCIÓN:	Riobamba, Av. Alfonso Chávez y Pasaje		
EMAIL:	bechaucat@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	5/N	TELÉFONO MÓVIL:	0962678314

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA EL SUMINISTRO ENERGÉTICO DE UNA ELECTROLINERA EN LA CIUDAD DE IBARRA.
AUTOR (ES):	Chauca Tipantasi Bryan Estalin
FECHA: DD/MM/AAAA	14/12/2023
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	PhD. Gerardo Isaias Collaguazo Galeano

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarrá, a los 18 días del mes de diciembre de 2023

EL AUTOR:

(Firma)

Nombre: Chauca Tipantasi Bryan Estalin

CERTIFICACIÓN

Ibarra, 18 de diciembre de 2023

Ing. Gerardo Collaguazo PhD.
DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO GRADO DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Después de examinar el presente trabajo de grado desarrollado por el estudiante Sr. **Bryan Estalin Chauca Tipantasi**, certifico que ha cumplido de manera integral con las normativas establecidas en la creación del documento titulado "**DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA EL SUMINISTRO ENERGÉTICO DE UNA ELECTROLINERA EN LA CIUDAD DE IBARRA**". Esta investigación ha sido realizada con el objetivo de obtener el título de Ingeniero Eléctrico, y puedo afirmar que, bajo mi supervisión, el trabajo se ha llevado a cabo de acuerdo con los estándares requeridos y respetando los principios éticos.



Ing. Gerardo Collaguazo PhD.
DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado a mis queridos padres, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida. Su apoyo incondicional, incluso en medio de las adversidades, me ha forjado como una persona con sólidos valores y me ha inspirado a perseverar en la búsqueda de mis sueños. A mis hermanas, quienes han sido una fuente constante de motivación a lo largo de mi travesía universitaria, les agradezco por su inquebrantable apoyo.

Agradecimientos

Deseo expresar mi sincero agradecimiento a Dios por haberme guiado en este fascinante viaje que es la vida. También quiero agradecer a mi madre, que siempre creyó en mí, incluso cuando yo dudaba de mis capacidades. A mi padre, le agradezco por haberme dado mis primeros pasos en el mundo técnico y haberme brindado el apoyo necesario para convertirme en el profesional que soy hoy en día. Mis hermanas han sido un apoyo inquebrantable en los momentos más difíciles de mi vida y en mi travesía universitaria.

No puedo pasar por alto el agradecimiento hacia todo el cuerpo docente de la Universidad Técnica del Norte, que con su dedicación y conocimientos contribuyeron significativamente a mi formación. A una persona muy especial, mis amigos, muchos de ellos a quienes considero una familia, sin ellos la vida universitaria no hubiese sido la misma, estuvieron siempre presentes brindándome su respaldo y ánimo, merecen un reconocimiento especial.

Finalmente, quiero agradecer de manera muy especial a mi docente tutor y asesor. Su sabiduría y orientación fueron fundamentales para el desarrollo de mi trabajo de grado. A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento por haber sido parte de este importante capítulo en mi vida.

Bryan Estalin Chauca

Tabla de Contenido

Dedicatoria.....	4
Agradecimientos	5
Tabla de Contenido.....	6
Índice de Figuras	8
Índice de Tablas.....	9
Resumen	11
Abstract.....	12
INTRODUCCIÓN	13
Planteamiento del problema.....	14
Formulación del problema.....	14
Justificación	15
Alcance	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos.....	16
CAPÍTULO 1	17
Análisis de los Diferentes Tipos de Vehículos Eléctricos, sus Características Eléctricas y los Componentes de las Estaciones de Carga.....	17
1.1. Vehículos Eléctricos.....	17
1.1.1. Partes de los Vehículos Eléctricos	18
1.2. Parámetros de las Baterías de Vehículos Eléctricos	20
1.2.1. Tipos de Baterías en los Vehículos Eléctricos	22
1.3. Electrolineras	22
1.3.1. Modos de Carga	23
1.4. Estación de Recarga Rápida.....	24
1.4.1. Infraestructura de las Estaciones de Carga Rápida.....	25
1.4.2 Configuraciones de las Estaciones de Carga	26
1.4.3. Modelos de Cargadores de Recarga Rápida.....	27
Capítulo 2	29
Diseño Eléctrico para la Alimentación de una Estación de Carga Rápida Para Vehículos Eléctricos.....	29
2.1. Metodología	29
2.1.1. Especificación del Proyecto.....	30
2.2. Propuesta de Diseño.....	32
2.3. Propuesta de Ubicación de Electrolinera en la Ciudad de Ibarra.....	33
2.3.1. Delimitación del Área	33
2.3.2. Selección del Lugar a Ubicarse la Estación de Carga.	34

2.3.3. Descripción de la Red Aérea de Distribución en la Zona de la Estación de Carga	35
2.4. Materiales y Ecuaciones a Usarse para la Ejecución del Proyecto.....	36
2.4.1. Ecuación Para el Cálculo de Corriente	36
2.4.2. Perdidas en el Conductor	37
2.4.3. Malla a Tierra	40
2.4.4. Unidades de Propiedad y Construcción	42
2.5. Diseño del Sistema Eléctrico y Obra Civil	43
2.5.1. Medidas de Obra Civil	44
2.5.2. Diseño Eléctrico	45
2.5.3. Transición de Red Aérea a Subterránea	46
2.5.4. Pozos de Revisión	48
2.5.5. Selección del Transformador.....	55
2.5.6. Selección del Conductor Para Medio Voltaje.....	61
2.5.7. Selección del Conductor para Bajo Voltaje.....	64
2.5.8. Mallado a Tierra	65
2.5.9. Equipos de Protección	69
2.5.10. Seccionamiento y Protección Red de Medio Voltaje.....	70
2.5.11. Diseño de circuito expreso	71
2.5.11. Diseño Eléctrico AutoCAD.....	73
Capítulo 3	77
Efecto de la Integración de la Electrolinera a la Red de Distribución.....	77
3.1. Red EmelNorte	77
3.2.1. Alimentador Ajaví 1	77
3.2. Estado Actual del ALIM.AJAVI 1	78
3.3. Inserción de la Estación de Carga al Alimentador Ajaví 1	80
3.3.1. Flujo de Carga.....	82
3.3.2. Flujo de Carga en el Nodo Fuente.....	83
3.3.3. Flujo de Carga en el Trasformador.....	84
3.3.4. Flujo de Carga en los Cargadores Modo 4	84
3.4 Análisis del Conductor del Alimentador Ajaví 1	86
3.4.1 Comportamiento del Conductor de Medio Voltaje Instalado	87
3.4.2 Comportamiento del Conductor Incluyendo la Estación de Carga	88
3.4.3 Comportamiento de los Conductores de la Estación de Carga.....	90
3.5. Armónicos en Cargadores de Vehículos Eléctricos	91
3.6. Análisis y Discusión	92
Conclusiones	94
Recomendaciones	95
Referencias.....	96

Anexos.....	100
-------------	-----

Índice de Figuras

Figura 1. Tipos de vehículos eléctricos.	17
Figura 2. Modelo de estaciones de carga según las normativas UC y UP.....	29
Figura 3. Metodología por usarse para el desarrollo del trabajo de grado.	30
Figura 4. Propuesta de diseño en diagramas de flujo.....	32
Figura 5. Delimitación del área de la Universidad Técnica del Norte.....	34
Figura 6. Propuesta para el lugar de ubicación de la estación de carga.....	35
Figura 7. Delimitación del área de la Estación de carga dentro de las instalaciones de la U.T.N	35
Figura 8. Campos de las unidades de propiedad y construcción.....	42
Figura 9. Modelado 3D de la Estación de Carga (electrolinera)	44
Figura 10. Medidas de obra civil.	45
Figura 11. Propuesta de diseño para pozos, canalizaciones hasta el transformador.....	46
Figura 12. Modelado 3D de transición de red eléctrica a subterránea.....	47
Figura 13. Modelado de pozos de revisión para red MV, incluyendo medidas entre estos..	49
Figura 14. Modelado de pozos para bajo voltaje hasta el tablero de distribución, incluyendo medidas.....	50
Figura 15. Modelado de pozos incluyendo aspectos de terreno y medidas.....	51
Figura 16. Modelado 3D de pozos, especificado en el catálogo UC y UP.	52
Figura 17. Modelado de separadores de tuberías, especificado en el catálogo UC y UP.	52
Figura 18. Formato de membretado en cintas de señalización según el catálogo digital UC y UP.	53
Figura 19. Modelado 3D de pozos de revisión con tuberías PVC o HDPE.	54
Figura 20. Modelado de las tapas para pozos eléctricos de revisión, especificados en Catálogo Digital.	55
Figura 21. Distancias mínimas de protección para transformadores tipo pedestal estandarizadas en el Catálogo UC y UP.....	59
Figura 22. Fotografía de un transformador tipo Pad Mounted al nivel del suelo.	60
Figura 23. Medidas del pozo bajo el transformador tipo pedestal.....	61
Figura 24. Partes del conductor TRXLPE mencionadas en el Catálogo Digital UC y UP. ...	62
Figura 25. Tabla de resumen para caídas de voltaje (base de datos EMELNORTE).	65
Figura 26. Diseño y medidas de la malla de puesta a tierra.	66
Figura 27. Dimensión de la malla a tierra incluido el diámetro de la varilla de cobre.	68
Figura 28. Puntos de ubicación de varillas de puesta a tierra en los extremos de la malla..	69
Figura 29. Diseño del circuito expreso para obra civil.	72
Figura 30. Plano arquitectónico de la Universidad Técnica del Norte.....	74

Figura 31. Diseño eléctrico propuesto para la estación de recarga en los espacios previamente seleccionados de la Universidad Técnica del Norte.	76
Figura 32. Gráfica de demanda del alimentador Ajaví 1.....	78
Figura 33.Valores del alimentador a demanda máxima ingresados en el nodo principal del alimentador (SYMDIST).....	79
Figura 34. Datos obtenidos por el Flujo de carga en nodo fuente (CYMDIST).	80
Figura 35. Ubicación del nodo 1 en la red de MV del alimentador Ajaví 1 dentro del programa CYMDIST.	80
Figura 36. Ingreso de datos del transformador dentro del programa.	81
Figura 37. Gráfica con la suma de la potencia del transformador de la estación de carga a la red de MV.....	82
Figura 38. Ubicación del Nodo 1 en el sector el Olivo alimentado por Ajaví 1.	83
Figura 40. Datos obtenidos en el Flujo de carga en nodo 1.....	83
Figura 41. Datos del Flujo de carga en el transformador.....	84
Figura 42. Inserción de datos de la Tabla 17 para armónicos en CYMDIST.	85
Figura 43.Conexión de cargadores conectados en un nodo en común derivado del transformador.....	86
Figura 44. Picos altos y bajos de corriente consumidas por el alimentador.....	88
Figura 45. Grafica de corrientes y comportamiento del alimentador con presencia de la estación de carga.	89
Figura 46. Diseño de Nodos en CYMDIST para análisis de flujo de carga.	90

Índice de Tablas

Tabla 1. Tipos de vehiculos electricos, ventajas y desventajas.	18
Tabla 2. Especificaciones de las baterías usadas en los últimos años en los vehiculos eléctricos.	21
Tabla 3. Características técnicas según el tipo de carga de una vehiculos eléctrico.	24
Tabla 4.Modelos de cargadores (electrolineras), especificaciones técnicas según el fabricante.	27
Tabla 5. Especificaciones de estructuras instaladas en el poste de derivación de la estación de carga.	46
Tabla 6.Tipos de pozos de revisión según el catálogo UC y UP.	48
Tabla 7. Especificaciones técnicas del cargados CSS establecidas en el Catálogo Digital UC y UP.	56
Tabla 8. Cuadro de datos eléctricos por cargador de la estación de carga.	57
Tabla 9. Capacidades de transformadores trifásicos.....	57
Tabla 10. Medidas del pozo bajo el transformador tipo Pad Mounted.	61
Tabla 11. Densidad de corriente de cortocircuito para conductores de cobre.	63
Tabla 12. Datos obtenidos mediante el método Wenner usando base de datos de FSingeniería.....	66

Tabla 13. Promedio de las mediciones realizadas por método Wenner.	67
Tabla 14. Protecciones para los 3 cargadores de la estación de carga.	69
Tabla 15. Medición Base EMELNORTE del alimentador Ajaví 1.	79
Tabla 16. Suma de potencia del transformador de la Estación Carga al alimentador Ajaví 1.	81
Tabla 17. Armónicos de corriente en modos de carga 3 y 4.	85
Tabla 18. Datos de corriente obtenidos en el flujo de carga en la cabecera del alimentador.	87
Tabla 19. Datos de corriente obtenidos en el flujo de carga en la cabecera del alimentador con presencia de la estación de carga.	89
Tabla 20. Flujo de carga y comportamiento de la corriente en el nodo 1 y 11.	90
Tabla 21. Flujo de carga y comportamiento de la corriente en el nodo 7.	91
Tabla 22. Flujo de carga en el conductor de los cargadores, y análisis de corriente.	91
Tabla 24. Límites permitidos para factor de distorsión armónica individual y THD.	92

Resumen

La propuesta de diseño surge debido a la demanda de vehículos eléctricos en el país, dada la escasez de estaciones de carga disponibles. El proyecto se centra en el desarrollo de un sistema eléctrico dedicado a alimentar una estación de carga rápida para vehículos eléctricos. La investigación abarca diversos aspectos, que incluye un análisis detallado con una evaluación de los modos de carga existentes en el mercado. A partir de esto se propuso un modelo metodológico que sigue una secuencia de pasos meticulosamente estructurados para abordar tanto los aspectos teóricos como técnicos del diseño. La propuesta de diseño eléctrico para suministrar energía a una estación de carga rápida para vehículos eléctricos que se ajusta a las normativas ecuatorianas, establecidas en la Homologación de las Unidades de Propiedad y Unidades de Construcción del Sistema de Distribución Eléctrica. Además, se incorpora un enfoque específico en Movilidad Eléctrica. La simulación realizada con el software CYMDIST evaluó la integración del transformador tipo Pad Mounted de 200 kVA en la red de medio voltaje (MV) del alimentador Ajaví 1 de EMELNORTE. Los resultados arrojaron una respuesta positiva, ya que no se evidenció una incidencia significativa ni un impacto considerable en la red al sumar la potencia del transformador. Por lo tanto, se llega a la conclusión de que tanto la red de MV como el conductor tienen la capacidad suficiente para soportar la carga de la estación. Este análisis considera que la estación no estará operativa a plena carga las 24 horas del día, en caso de implementación, debido al comportamiento no lineal en el alimentador ocasionado por el uso de energía por parte de los usuarios conectados a este. Además, es relevante señalar que el conductor 1/0 AWG instalado en la red no genera picos de corriente mayores a 142 A, estando por debajo del nivel máximo de soporte del conductor, que es de 242 A. Esto sugiere la viabilidad de instalar aún más estaciones de carga en el alimentador.

Palabras clave: Estación de Carga, diseño eléctrico, alimentador, simulación.

Abstract

The design proposal arises due to the demand for electric vehicles in the country, given the shortage of available charging stations. The project focuses on the development of an electrical system dedicated to powering a fast-charging station for electric vehicles. The research covers various aspects, including a detailed analysis with an evaluation of existing charging modes in the market. From this, a methodological model was proposed that follows a sequence of meticulously structured steps to address both the theoretical and technical aspects of the design. The electrical design proposal aims to supply power to a fast-charging station for electric vehicles that complies with Ecuadorian regulations, as established in the Homologation of Ownership and Construction Units of the Electric Distribution System. Additionally, a specific focus on Electric Mobility is incorporated. The simulation conducted with the CYMDIST software assessed the integration of the 200 kVA Pad Mounted transformer into the medium-voltage (MV) network of the Ajaví 1 feeder of EMELNORTE. The results yielded a positive response, as there was no significant incidence or considerable impact on the network when adding the transformer's power. Therefore, the conclusion is reached that both the MV network and the conductor have sufficient capacity to support the station's load. This analysis considers that the station will not be operational at full load 24 hours a day, in case of implementation, due to the nonlinear behavior in the feeder caused by the energy usage of connected users. It is also relevant to note that the 1/0 AWG conductor installed in the network does not generate current peaks exceeding 142 A, remaining below the conductor's maximum support level of 242 A. This suggests the feasibility of installing even more charging stations in the feeder.

Keywords: Charging Station, Electrical Design, Feeder, Simulation.

INTRODUCCIÓN

Este documento presenta una propuesta para el diseño eléctrico capaz de suministrar energía eléctrica a una electrolinera para la carga de vehículos eléctricos enchufables, ya que se sabe que el número de vehículos eléctricos en el 2020 supero las 105 unidades (Statista, 2021), y esto sigue creciendo hasta el año 202. En el Ecuador la ley de Eficiencia Energética menciona que “Todo vehículo adquirido para movilidad urbana será con automotores 100% eléctricos” (Asamblea Nacional, 2021). Lo que genera una incógnita sobre las electrolineras o puntos de recarga para estos vehículos, teniendo en cuenta los modos de carga, ya que como se sabe los vehículos eléctricos necesitan de una fuente energética, como en una estación de combustible, pero en este caso será dotado de energía eléctrica (*LugEnergy*, 2022). En la actualidad todo proyecto que fomente la sustentabilidad de una ciudad, en este caso de Ibarra depende de las autoridades y personal encargado de ejecutar los diseños y proyectos de eficiencia y sostenibilidad, en el país se encuentran trabajando en la estandarización y normativa para la instalación de este tipo de estaciones de recarga para vehículos eléctricos, tomando en cuenta la homologación vehicular vigente hasta el año actual (ANT, 2023).

Es importante resaltar que el diseño establece un sistema que, según los modos de carga pueda ser implementado en un área compartida o condominios haciendo un pequeño análisis sobre los costes que tendrá la misma en el caso de que se llegue a ejecutar de manera física.

Para que el aumento de compra de vehículos eléctricos crezca progresivamente es necesario crecer continuos distintos puntos de estaciones de recarga de vehículos eléctricos (Macías, 2022), ordenando así las ideas de este documento para implementar una electrolinera en un punto estratégico dentro de Ibarra.

Planteamiento del problema

Con el crecimiento notable de los vehículos eléctricos tanto a nivel global como en Ecuador, impulsado por un aumento constante en su compra y venta, se destacan numerosas ventajas como la reducción de la contaminación y el ruido. Sin embargo, para garantizar una recarga eficiente de estos vehículos, es esencial la implementación de estaciones de carga o electrolinerías en áreas urbanas y a lo largo de las carreteras del país.

El proceso de planificación y establecimiento de electrolinerías requiere considerar varios aspectos, como el suministro eléctrico y la potencia de cada estación, los modos de carga de los vehículos eléctricos y el impacto de estas instalaciones en la red eléctrica de distribución los factores clave para considerar.

En Ecuador, la Ley Orgánica de Eficiencia Energética establece que, a partir de 2025, todos los vehículos destinados a movilidad urbana deben ser eléctricos, sin incluir los vehículos adquiridos por personas para uso personal. Esto plantea un desafío importante con relación a la adaptación de estaciones de recarga para vehículos eléctricos en ubicaciones estratégicas de la ciudad de Ibarra. Esta adaptación debe cumplir con las regulaciones y considerar la dinámica del tráfico urbano, al mismo tiempo que se deben evaluar las posibles implicaciones en la red de distribución eléctrica.

Formulación del problema

¿Qué parámetros y normativas se deben considerar para el diseño de la instalación para el suministro eléctrico de una estación de carga para vehículos eléctricos?

Justificación

En Ibarra, la investigación y diseño del sistema eléctrico para suministrar la electrolinera pretende conocer el diseño eléctrico para estas, sin dejar de lado los autos eléctricos y el aumento progresivo en su tecnología constructiva siendo estos temas futuristas, con gran aporte en la sociedad y en el estudio para futuras generaciones.

Es importante recalcar que los problemas que influyen en la masificación de vehículos eléctricos son las estaciones de recarga, esto con la complicada accesibilidad a estas estaciones, llevando a una preocupación que impacta con las decisiones de adquisición de coches eléctricos por parte del consumidor

El análisis técnico para implementar un sistema de carga para vehículos eléctricos considera el proceso de investigación para este, en el que se consultan métodos científicos, leyendo investigaciones similares que demuestran su validez y aprobación de estos sistemas para la carga de vehículos eléctricos.

En las ciudades hay más compromiso de las autoridades, profesionales y personal técnico para diseñar y planificar el funcionamiento integral y sostenible, Ecuador tiene leyes y políticas que incentivan la movilidad eléctrica, en este sentido la investigación toma hoy, ya que a partir del 2025 habrá un auge de vehículos eléctricos por la Ley de Eficiencia Energética, donde todo vehículo adquirido para movilidad urbana será 100% eléctrico. Además, los resultados serán de mucha importancia para los operadores de los sistemas eléctricos.

Así podemos decir que en un futuro los vehículos eléctricos dominarán las carreteras del país, por lo que se necesita implementar e instalar diferentes puntos de carga para cumplir la demanda y el incentivo de compra de autos eléctricos.

Alcance

Para la ejecución del diseño eléctrico para el suministro de una estación de carga de vehículos eléctricos se investigará sobre los tipos de vehículos eléctricos estipulados en la homologación vehicular con sus respectivas características de diseño y funcionamiento, considerando los tipos de baterías, su autonomía, modos de carga y tipos de conectores de las electrolinerías.

Para la propuesta de diseño de la instalación eléctrica se considerará diferentes aspectos constructivos y componentes de una electrolinería como: centro de transformación, conductores, redes de alimentación y protecciones, considerando las normativas nacionales e internacionales para la construcción del sistema eléctrico para alimentarla.

Finalmente, se analizarán los efectos en la red eléctrica de distribución por sus cargadores, usando la base de datos de EMENORTE junto con el programa CYMDIST, para identificar el impacto de los cargadores en la red de medio voltaje.

Objetivo General

Diseñar el sistema para el suministro eléctrico de una electrolinería mediante un análisis de modos de carga y normativas de carga de autos eléctricos en la ciudad de Ibarra.

Objetivos Específicos

- Analizar los tipos de vehículos eléctricos, características eléctricas y los componentes de las electrolinerías.
- Diseñar el sistema eléctrico para el suministro de la electrolinería derivada de la red.
- Determinar el efecto de la integración de la electrolinería a la red de distribución de la ciudad de Ibarra.

CAPÍTULO 1

Análisis de los Diferentes Tipos de Vehículos Eléctricos, sus Características Eléctricas y los Componentes de las Estaciones de Carga.

El capítulo aborda los diversos tipos de vehículos eléctricos, clasificándolos en tres categorías: híbridos, híbridos enchufables y totalmente eléctricos. Se pone especial énfasis en el vehículo eléctrico, detallando sus componentes fundamentales. Las baterías representan la fuente primaria de energía para estos vehículos, influyendo de manera significativa en su rendimiento y autonomía. Se recopila información sobre varios tipos de baterías comúnmente utilizadas en vehículos eléctricos. Posteriormente, se examinan las electrolineras, destacando la necesidad de instalaciones especiales o centros de transformación para alimentar los cargadores de vehículos eléctricos (electrolineras). Además, se realiza una comparación entre distintas marcas de electrolineras.

1.1. Vehículos Eléctricos

Actualmente, existen diversas marcas y modelos de vehículos eléctricos (VE) disponibles en todo el mundo. En cuanto a su tipología, existen tres categorías principales: vehículos eléctricos de batería, vehículos eléctricos híbridos enchufables y vehículos eléctricos híbridos. (F Moreno, 2016). La Figura 1 ofrece una representación gráfica de las fuentes de energía usadas por cada vehículo, lo que da una visión clara de sus sistemas de propulsión.

Figura 1.

Tipos de vehículos eléctricos.



Nota. Descripción gráfica de un vehículo según su fuente de energía. Adaptado de AutoSolar [Imagen], por AutoSolar, Flickr (<https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/puedo-usar-mis-baterias-solares-para-cargar-vehiculos-electricos>). (AutoSolar, 2018).

En el primer escenario, se presenta el vehículo híbrido, que amalgama una batería con GLP como fuentes de energía complementarias. En el segundo caso, se encuentra el vehículo híbrido enchufable, el cual se vale de baterías recargables junto con GLP, mostrando una

versatilidad en la alimentación energética. Finalmente, en el tercer caso, se presenta el vehículo eléctrico puro, cuya fuente exclusiva de energía son baterías recargables que se nutren mediante un cargador eléctrico. Este último, con la ventaja de poder conectarse tanto a enchufes residenciales como a estaciones de recarga, lo que destaca su accesibilidad y conveniencia como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1.

Tipos de vehículos eléctricos, ventajas y desventajas.

Tipo	Vehículo Eléctrico a Batería (VEB)	Vehículos Híbridos Enchufables (VHEn)	Vehículos Híbridos Eléctricos (VHEI)
Fuente de alimentación	Baterías	Baterías y tanque de combustión	Baterías y tanque de combustión
Descripción	Vehículo 100% eléctrico, su fuente de alimentación es una batería recargable la misma que usa un cargador para reabastecerse y continuar con su funcionamiento.	Vehículo que funciona con electricidad suministrada por sus baterías y combustible, las baterías al igual que los vehículos eléctricos pueden recargarse	Vehículo de propulsión mixta que combina un motor eléctrico con un motor de combustión, dando prioridad al motor eléctrico por temas de ahorro.
Ventajas	Cero emisiones de gases contaminantes menos averías mecánicas, costo de carga de baterías económico	Consumo bajo y recarga económica, en cortas distancias prioriza el motor eléctrico Menos emisiones de gases contaminantes	Menor consumo de combustible, menos emisiones de gases contaminantes Ideales para las grandes ciudades

Nota: Se describe según el tipo de vehículo, ya sea eléctrico, híbrido enchufable o eléctrico, considerando la fuente de alimentación, se describe brevemente el funcionamiento según los motores y su fuente de poder.

Actualmente, el mercado de vehículos tiene muchas opciones, cada una distinguiéndose por su fuente de energía. No obstante, se realiza un enfoque específico en los vehículos eléctricos alimentados exclusivamente por baterías, que dependen de conectores para su carga. Una característica fundamental que comparten estos vehículos es su potencial para reducir de manera considerable las emisiones de gases contaminantes perjudiciales para el medio ambiente, lo que los convierte en una opción esencial para la promoción de un transporte más sostenible y amigable con nuestro entorno.

1.1.1. Partes de los Vehículos Eléctricos

El vehículo eléctrico es un conjunto de componentes que trabajan en armonía para poner en movimiento a este medio de transporte. Aunque los detalles pueden variar según el fabricante, el propósito fundamental sigue siendo el mismo: proporcionar una solución de transporte

eficiente y sostenible (José Antonio, 2021). A continuación, se describen algunas partes cruciales de un vehículo eléctrico, como: el motor, los convertidores, la batería, los controladores y los inversores. Estos elementos se combinan de manera ingeniosa para dar vida a una alternativa de movilidad altamente eficiente.

- a) **Motor:** El motor eléctrico es uno de los componentes más esenciales dentro de un vehículo eléctrico (VE), asumiendo el papel de un auténtico "corazón" que impulsa y da vida al vehículo. Su tarea principal es convertir la energía eléctrica en una potencia mecánica formidable. Este motor eléctrico se caracteriza por su eficiencia y por su capacidad para generar una potencia y torque notables que se traducen en una experiencia de conducción suave y poderosa, y con la ventaja adicional de un funcionamiento casi silencioso (José Antonio, 2021).
- b) **Convertidores:** El convertidor de corriente de un automóvil eléctrico asume la crucial responsabilidad de distribuir la energía a todos los componentes del vehículo. Como señala "Berizzo", uno de los desafíos que enfrentan los ingenieros al construir vehículos eléctricos es determinar el nivel de tensión en el que operarán los diversos elementos del VE. Una de las soluciones más comunes implica alimentar el inversor directamente desde la batería con corriente continua (CC) y, a su vez, el inversor convierte esta corriente continua en corriente alterna (CA) para alimentar el motor (Berizzo, 2021).
- c) **Batería:** La función fundamental de una batería en un vehículo eléctrico (VE) consiste en almacenar energía y proporcionar la corriente necesaria para impulsar el funcionamiento del vehículo. Cuando se habla de baterías, se refiere a un acumulador de energía que se derivan de una o más celdas electroquímicas, por lo que juegan un papel de suma importancia en el funcionamiento de los VE, si almacena energía (Rosas & Trujillo, 2022).
- d) **Controlador:** El controlador de un vehículo eléctrico (VE) desempeña una función esencial al supervisar y gestionar aspectos como la aceleración, la marcha atrás, el encendido, la velocidad, la frenada y la administración de otros dispositivos electrónicos del vehículo. Este componente, a menudo comparado con el "cerebro" del VE, es de vital importancia para su operación integral (Sandoval et al., 2021).
- e) **Inversor:** El inversor es el dispositivo encargado de convertir de corriente continua en corriente alterna es de suma importancia en los VE ya que convierte la energía eléctrica para que pueda ser usada por el motor que se acopla al pedal del acelerador para modular la velocidad (González, 2022).

1.2. Parámetros de las Baterías de Vehículos Eléctricos

Para que las baterías sean aptas para su uso en vehículos eléctricos (VE), deben cumplir con ciertos parámetros específicos. A continuación, se describe en detalle estos requisitos:

- a) **Capacidad.** Como su nombre sugiere, la capacidad de almacenamiento de la batería se refiere a la cantidad de energía que puede retener y que luego se empleará en procesos de oxidación-reducción para proporcionar voltaje al vehículo y a sus sistemas internos (Cepeda et al., 2022).
- b) **Corriente máxima.** La corriente que debe suministrar una batería a un VE debe ser precisa, por lo que, si la corriente que circula por la batería es alta, los daños que pueden causar son catastróficos, posiblemente pueden causar una explosión (Cepeda et al., 2022).
- c) **Tensión.** La tensión de la batería se determina en función del material utilizado en la construcción de los electrodos (Cepeda et al., 2022). Es esencial mantener un control preciso tanto de la tensión como de la corriente de la batería para evitar exceder los valores máximos y mínimos de voltaje.
- d) **Carga y descarga.** La carga y descarga de las baterías de los vehículos eléctrico tienden a ser procesos reversibles, que se repiten durante el ciclo de uso normal del VE, los materiales de la batería y su proceso de construcción están directamente relacionados con la autonomía y la eficiencia de la misma, el diseño del sistema de gestión de la batería y la forma en que se lleva a cabo la carga y descarga, la tecnología de baterías en vehículos eléctricos está en constante evolución para mejorar la eficiencia y la durabilidad (Fernández, 2021).
- e) **Rendimiento.** Se estima que la batería de un automóvil eléctrico debe tener una durabilidad mínima de al menos ocho años o 150,000 kilómetros, lo que equivale a aproximadamente 3,000 ciclos de carga. Algunas marcas incluso ofrecen una mayor protección, como garantías de por vida para la batería (Volkswagen, 2023). Sin embargo, después de este período, se espera que la batería reduzca su capacidad a alrededor del 75%. Esto significa que la batería aún tendría una vida útil considerable a pesar de disminuir su rendimiento.

Tabla 2.

Especificaciones de las baterías usadas en los últimos años en los vehículos eléctricos.

Tipo	Plomo-Ácido (PB-ácido)	Níquel Cadmio Ni Cd	Níquel-Hidruro metálico (NiMh)	Ion-Litio (LiCoO2)	Ion -Litio con Cátodo (LiFePO4)	Polímero de Litio (LiPo)
Ciclos de carga y descarga	500-800	1500-2000	300-500	400-1200	400-1200	Por debajo de 1000
Densidad energética	30-40 Wh/kg	40-60 Wh/kg	30-80 Wh/kg	100-250 Wh/kg	100-250 Wh/kg	300 Wh/kg
Mantenimiento	Periódico	Periódico	Elevado	Ninguno	Ninguno	ninguno
Ventajas	Bajo coste Mejor respuesta en el frío	Mayor fiabilidad Métodos de reciclado total de las baterías	Reducción de efecto memoria Eliminan el Cadmio	Alta densidad energética Menor tamaño Peso ligero Alta eficiencia No posee efecto memoria	Seguridad Potencia	Estabilidad Ligeras Eficientes
Desventajas	Pesadas Recarga lenta	Alto coste Efecto memoria Contaminante Daño prematuro por el calor	Menor fiabilidad No soporta descargas fuertes Menor resistencia a altas temperaturas	Alto costo de producción Fragilidad Requiere de circuito de seguridad Precisa almacenaje cuidadoso	Menor densidad energética Mayor coste	Alto costo Ciclo de vida corto

1.2.1. Tipos de Baterías en los Vehículos Eléctricos

En vehículos eléctricos, la batería almacena energía que luego suministrará potencia al motor eléctrico y alimentará los dispositivos del VE (Cepeda, Garzón, Guazumba, et al. 2022). La capacidad de una batería depende del amperaje entregado en un tiempo determinado, la mayoría de las baterías las forman celdas, que se conectan entre sí; construyendo un paquete de baterías con la suma de todas las celdas (Donado, 2021). La batería es un componente crítico que determina la autonomía de un vehículo eléctrico (VE). Actualmente, existen varios tipos de baterías, consideradas factores como el ciclo de vida, la densidad energética, el peso, los tiempos de carga y descarga, para evaluar y seleccionar la batería más adecuada para un VE.

La Tabla 2 detalla una variedad de tipos de baterías utilizadas en vehículos eléctricos, se muestran los ciclos de carga y descarga de cada batería, un factor directamente vinculado con la autonomía del vehículo eléctrico (VE) y, en última instancia, con la vida útil de la batería. La densidad energética, que cuantifica la cantidad de energía proporcionada por cada kilogramo de batería, es un aspecto crítico que incide en la autonomía del VE, ya que una mayor densidad energética se traduce en una mayor autonomía y una reducción del peso total del vehículo.

Se evalúan las ventajas y desventajas de las baterías investigadas y se observa que la batería de ion-litio es la más empleada, con 48 módulos individuales conectados en serie y con una capacidad de 32,5 A (Paúl Barros et al., 2018).

1.3. Electrolineras

Una electrolinera, similar a una estación de servicio de combustible convencional, es la función principal de proporcionar energía eléctrica para recargar baterías en vehículos eléctricos o híbridos enchufables. En el diseño de una electrolinera, se busca crear un espacio que no solo atienda las necesidades de carga, sino que también mejore la experiencia de los usuarios mientras esperan la carga total de su vehículo. Esto se logra mediante la incorporación de instalaciones como cafeterías, zonas de descanso, áreas de juegos infantiles entre otros (Plaza, 2019).

Existen cuatro modos de carga para vehículos eléctricos. Los modos 1 y 2 son adecuados para recargas residenciales y se conectan a enchufes estándar. Por otro lado, los modos 3 y 4 requieren una capacidad de potencia más alta, lo que aumenta el costo de

instalación. Por lo tanto, estos últimos modos son más factibles de implementar en estaciones de recarga con múltiples puntos de carga (Plaza, 2019).

1.3.1. Modos de Carga

Actualmente, hay varios métodos de carga diferentes en cuanto a velocidad de recarga y tipo de conexión. Estos modos abarcan desde la carga lenta hasta la rápida, que demanda una potencia significativamente superior a la disponible en un hogar convencional. A continuación, se proporciona una descripción de estos modos de carga.

- a) **Modo 1.** Se trata de uno de los sistemas de carga eléctrica de velocidad reducida que se nutre directamente de la red eléctrica residencial. Este sistema es compatible tanto con conexiones monofásicas como bifásicas, permitiendo su uso a través de enchufes estándar con una capacidad de hasta 16 amperios. Esta solución de carga se presenta como una opción accesible y práctica para los propietarios de vehículos eléctricos, facilitando la recarga en el entorno cotidiano de sus hogares con la versatilidad de adaptarse a diferentes instalaciones eléctricas domésticas (Macías, 2022).
- b) **Modo 2.** Al igual que el modo anterior, este sistema opera tanto con la red monofásica como con la trifásica. Sin embargo, en contraste con el primero, este sistema demanda el uso de enchufes estandarizados que puedan manejar una capacidad de hasta 32 amperios (Paúl Barros et al., 2018).
- c) **Modo 3.** Este modo pertenece a la categoría de sistemas de recarga semirápida, donde se emplea la red eléctrica como la fuente primordial de energía que se conecta a un dispositivo de recarga específico. Mediante un conector especializado, se realiza la transferencia de energía hacia las baterías del vehículo eléctrico, permitiendo una recarga eficiente y ágil del automóvil. Este enfoque pone de relieve la importancia de la infraestructura de carga en la movilidad eléctrica (Macías, 2022).
- d) **Modo 4.** La carga rápida es un proceso que a menudo se lleva a cabo en puntos cruciales conocidos como "electrolineras", dado su alto requerimiento de potencia. La implementación de este modo de carga implica la adaptación de las redes eléctricas, el dimensionamiento de transformadores, cálculos de conductores y otros ajustes (García et al., 2022).

La potencia requerida para la carga rápida es significativamente mayor, lo que demanda un estudio eléctrico detallado para su implementación. Este tipo de carga puede

ser en corriente continua o alterna. En cuanto a la tensión, el modo de carga lenta utiliza la red eléctrica residencial, mientras que la carga semirápida y rápida necesitan una alimentación trifásica como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3.

Características técnicas según el tipo de carga de una vehículos eléctrico.

TIPO DE CARGA	CARGA LENTA	CARGA SEMIRAPIDA	CARGA RAPIDA	
			AC	DC
POTENCIA	3,3 - 3,6 kW;	22kW a 32A	43kW	50kW
TENSIÓN	208 - 240 V Monofásico trifilar o bifásico	400V Trifásico AC	400V Trifásico AC	Alimentación 400V AC salida 500 VDC
TIEMPO DE RECARGA	16A: 6 - 8 horas 32A: 4 - 6 horas	2 horas	1 hora	30 minutos
APLICACIÓN	Carga residencial, privada, carga pública	Carga Pública	Carga Publica (Estaciones de servicio)	

Nota: La Tabla establece tres tipos de carga conocidos como son: lenta, semi rápida y rápida; donde se toma 3 aspectos importantes: tensión, potencia y tiempo estimado de recarga de las baterías. (García et al., 2022)

La diferencia en el tiempo de carga entre estos tres modos es notable, especialmente al comparar la carga lenta con la carga rápida, debido a la alta potencia necesaria en el modo rápido. La elección de un modo de carga dependerá en última instancia de las necesidades y preferencias del usuario, pero es importante tener en cuenta que los modos de carga semirápida y rápida suelen ser más costosos de implementar.

1.4. Estación de Recarga Rápida

La recarga rápida de vehículos eléctricos pretende equiparar la velocidad de carga a la experimentada en las estaciones de combustible. Por este motivo, es fundamental destacar que las estaciones de carga rápida disponen de una potencia igual o superior a los 50 kW en corriente continua (Velatia, 2019).

Esto implica la necesidad de contar con equipos eléctricos de alta potencia para transformar la energía de media tensión y, posteriormente, adaptarla a la corriente continua que requieren las electrolineras. En este punto, comienza la interacción entre el usuario y la electrolinera en relación con el vehículo eléctrico (Velatia, 2019).

1.4.1. Infraestructura de las Estaciones de Carga Rápida

La infraestructura de una estación de recarga rápida varía en función del lugar y los puntos de interacción entre la electrolinera y el vehículo. Puede estar ubicada en espacios públicos o lugares de alta concurrencia, como supermercados, estacionamientos en el centro de la ciudad o instituciones educativas como universidades. La estación de recarga está compuesta por dispositivos que permiten el suministro de energía, transformando estos puntos de carga en estaciones de servicio completas para vehículos eléctricos. La infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos incorpora dispositivos lógicos y físicos diseñados para proporcionar un servicio seguro y eficiente en diversos escenarios. Esto implica que deben ofrecer un servicio integral y fiable. Una estación de recarga consta de varios componentes, entre ellos un centro de transformación, canalizaciones eléctricas, dispositivos de control, sistemas de protección, sistemas de puesta a tierra y equipos de medición.

- Centro de transformación.

Cada sistema eléctrico cuenta con un punto crucial en el proceso de distribución de energía eléctrica hacia los consumidores, conocido como el centro de transformación (CT). Como su nombre indica, el CT se encarga de transformar el voltaje de media tensión a niveles de bajo voltaje, permitiendo así la conexión de múltiples puntos a la red de bajo voltaje (BV) (Cánovas, 2023).

- Canalizaciones eléctricas.

Las canalizaciones eléctricas pueden variar según el tipo de instalación del centro de transformación, que puede ser aérea e interior, incluyendo opciones superficiales o subterráneas. Actualmente, existen normativas estandarizadas que rigen la instalación de cableado para líneas aéreas, pero es relevante tener directrices específicas para las líneas subterráneas, dado su papel crucial en la conexión de estaciones de carga de vehículos eléctricos (MIEM, 2022).

- Dispositivos de mando.

Los dispositivos de mando para alimentar una electrolinera pueden usarse como modo de control para implementar un sistema SCADA. Se necesitan cuando desea enviar

manual o automáticamente órdenes de carga a circuitos o a cualquier dispositivo usado en sus sistemas y aplicaciones, local y remotamente (Paúl Barros et al., 2018).

- Protecciones.

Según menciona (ENDESA, 2023), “Las instalaciones eléctricas cuentan con diversos sistemas de protección para garantizar la seguridad y la integridad de los usuarios y de las infraestructuras.” Los sistemas de protección más frecuentes son: fusibles, relé térmico, interruptor magnetotérmico, interruptor diferencial, relé electromagnético, seccionadores entre otros.

- Puesta a tierra.

Las puestas a tierra se implementan para regular la tensión que las masas metálicas pueden alcanzar en relación con la tierra en un determinado momento. Su función principal es garantizar la efectividad de las protecciones eléctricas y reducir al máximo el riesgo de daño o fallo en los componentes eléctricos utilizados. Estas medidas son esenciales para mantener la seguridad y el correcto funcionamiento de los sistemas eléctricos, evitando situaciones potencialmente peligrosas y garantizando una operación confiable (ITC-BT-18, 2005).

- Aparatos de medida.

Los equipos de medida eléctrica son instrumentos para medir la intensidad de la corriente de cualquier instalación. Estas mediciones se realizan mediante una serie de parámetros eléctricos en base a factores como la temperatura, la fuerza, la presión o el flujo (ENDESA, 2023b). Por tanto, los equipos de medición captarán y medirán las señales eléctricas de una instalación, lo que nos da ventajas como conocer el consumo de cada aparato identificando si funciona con corriente pulsante, continua o alterna, lo que supondrá un mayor control y ahorro del consumo eléctrico (Nieto, 2022).

1.4.2 Configuraciones de las Estaciones de Carga

En las electrolineras, la incorporación de un transformador es fundamental debido a las altas potencias necesarias para los cargadores de vehículos eléctricos en modo 4. El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable ha delineado tres configuraciones para el diseño de estaciones de recarga, adaptadas tanto para vehículos livianos como pesados. La potencia de salida por cargador se relaciona con el tipo de conector seleccionado.

Importante considerar que la potencia máxima recomendada para estaciones de carga para vehículos eléctricos livianos es de 350 kW y la máxima recomendada para estaciones de carga para vehículos pesados es de 600 kW (MEER, 2022).

- **Estación de carga modo 3/4 configuración 1.**

Se puede emplear un transformador AC/AC directamente conectados a un tablero de medición y distribución de cargas hacia los cargadores AC o DC dependiendo del fabricante,

- **Estación de carga modo 4 configuración 2.**

Igualmente, la configuración anterior se puede usar un transformador AC/AC, módulos de potencia DC/DC, módulos de comunicación, gestión de carga y cargadores. Para esta configuración los módulos transfieren la carga que requiere el vehículo eléctrico, a través de los cargadores (MEER, 2022).

- **Estación de carga modo 4 configuración 2.**

Empleando inversor AC/DC, convertidor DC/DC, módulo para comunicación y gestión de carga y cargadores (MEER, 2022).

1.4.3. Modelos de Cargadores de Recarga Rápida

Actualmente, el mercado ofrece muchos modelos de electrolineras, y sus características técnicas, diseño y otros aspectos varían según el fabricante. Respecto a las estaciones de carga rápida, la diversidad de opciones es notable.

Tabla 4.

Modelos de cargadores (electrolineras), especificaciones técnicas según el fabricante.

Modelo	Imagen	Potencia	Frecuencia
ABB Terra 53 CJG		50kW	50 Hz

INGETEAM Ingerev Rapid 50		50kW	50 Hz
Schneider Electric Evlink		50kW	60 Hz
Tesla SuperCharger		90kW	50-60Hz
Circontrol Raption 50		50kW	50-60Hz

Nota: La tabla muestra diferentes cargadores, como se observa en la columna de potencia, casi la mayoría adquieren una potencia de 50 kW, debido a sus aparatos electrónicos en la construcción total del cargador (Nelsen, 2015).

En este análisis se seleccionarán los modelos de carga rápida más destacados y relevantes, estacionados en la Tabla 4, para dar una visión clara y completa de las opciones disponibles en este segmento del mercado. En los modelos de electrolineras existentes, y la mayoría ofrecen una potencia superior a 50 kW. Esto se debe a que la recarga rápida de vehículos eléctricos demanda una potencia considerable, tanto para los componentes internos de las electrolineras como para la conversión eficiente de corriente continua a alterna o viceversa. Además, es importante tener en cuenta que diferentes países operan con diferentes frecuencias eléctricas; en el caso de Ecuador, la frecuencia es de 60 Hz. Que dado el caso empresas como Circontrol, Tesla, Schneider entre otras, trabajan con ambas frecuencias de 50 y 60 Hz (Paúl Barros et al., 2018).

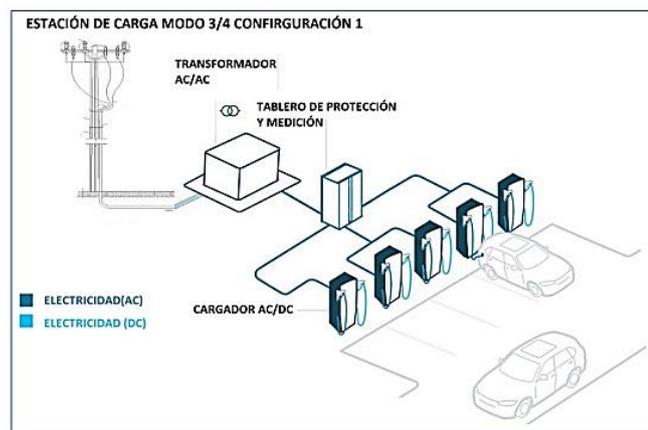
Capítulo 2

Diseño Eléctrico para la Alimentación de una Estación de Carga Rápida Para Vehículos Eléctricos

Con el apoyo del análisis bibliográfico sobre las electrolineras, los VE y el tipo de baterías. Se realizó el diseño eléctrico para el suministro energético de una estación de recarga para vehículos eléctricos (electrolinera), la cual consta de 3 puntos de recarga, se toma como modelo base el cargador “Circontrol Raption 50” (ver anexo A). En lo que continúa el texto se presentan los cálculos, modelos de circuitos y obra civil para el desarrollo del trabajo de grado, tomada del Catálogo Digital del MEER, como se observa en la Figura 2.

Figura 2.

Modelo de estaciones de carga según las normativas UC y UP.



Nota. Adaptado de Estación de carga modo 3 & 4 configuración 1, del Ministerio de Energía y Minas, 2022, (MEER, 2022).

Según la normativa especificada en los códigos UC y UP del Catálogo Digital de Redes de Distribución de Energía, el tipo de estaciones de carga rápida para vehículos eléctricos, usando el modo de carga 3 o 4 se considera la configuración 1. Se puede observar la derivación de la red hacia un centro de transformación para posteriormente alimentar a los cargadores.

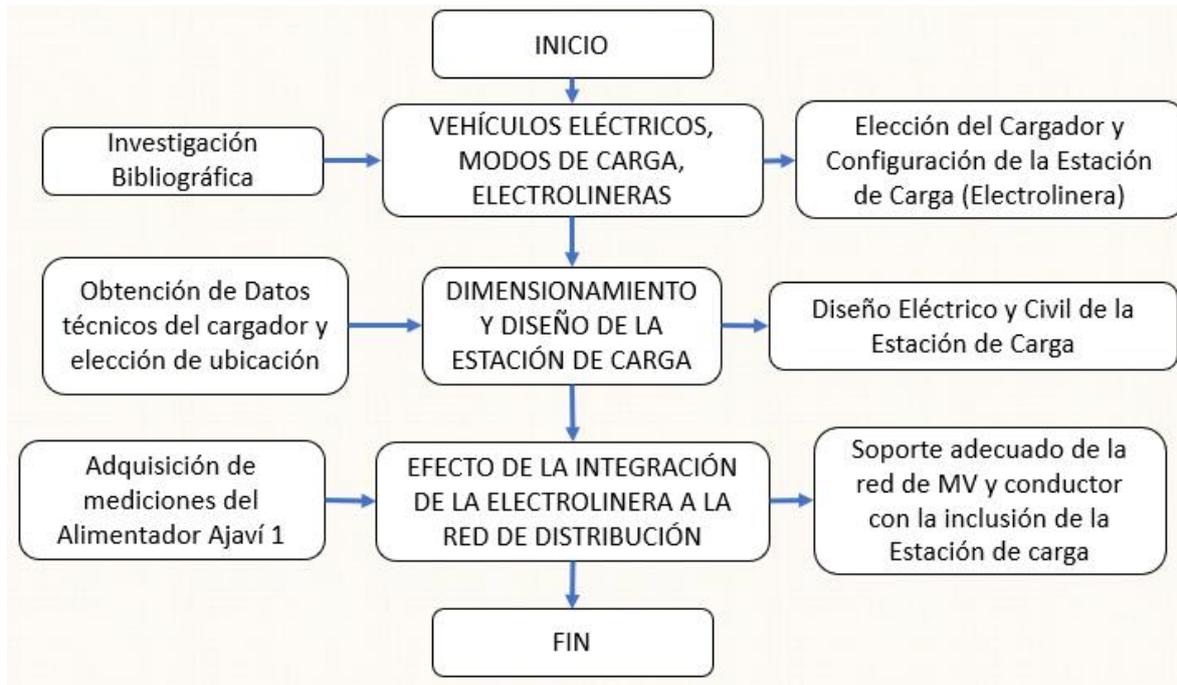
2.1. Metodología

Se ha establecido un modelo metodológico para guiar eficazmente el proceso de diseño. Este modelo se articula mediante una secuencia de pasos claramente definidos, estos conducirán hacia la culminación del documento final. Cada paso en este proceso se ha

elaborado y estructurado para asegurar un diseño óptimo y coherente como se observa en la Figura 3.

Figura 3.

Metodología por usarse para el desarrollo del trabajo de grado.



Nota. La figura muestra los pasos que se tomarán en consideración para la realización del trabajo de grado.

Existen diferentes pasos para desarrollar y crear el diseño eléctrico, considerando puntos técnicos e investigativos para el desarrollo del capítulo.

2.1.1. Especificación del Proyecto.

Las electrolineras o también conocidas como estaciones de carga, poseen un gran avance tecnológico para mejorar la eficiencia de carga y disminuir el tiempo de carga en los VE, en base al estudio bibliográfico se selecciona el modelo de electrolinera de la empresa CIRCONTROL. Con base en este modelo se diseñará la estación de carga, se iniciará con el dimensionamiento del transformador. Se seleccionará el conductor que alimentará al transformador, derivado de la red de MV, de la misma manera se realizará para el lado secundario donde se seleccionará el conductor adecuado que conduce al cuadro de protecciones, también se dimensionará el sistema de puesta a tierra, que será acorde a las normativas vigentes, se diseñarán los pozos soterrados según las normativas. Para concluir, se realizará un estudio exhaustivo para evaluar la capacidad de la red eléctrica al incorporar

el transformador de la estación de carga. Luego se examinará la presencia de armónicos en el cargador, especialmente en el modo 4, para garantizar un funcionamiento óptimo y la integridad de la red eléctrica en el proceso. Esta sección definirá las normas, exigencias y los procedimientos para el diseño de la estación de recarga, además se presentó la metodología a seguir para cumplir con la meta.

2.2.1.1. Normativa.

Actualmente en el Ecuador el Ministerio de Energía y Minas de la mano con el Viceministerio de Electricidad, establecen las “Unidades de propiedad y de construcción de estaciones de carga para vehículos eléctricos, plan de movilidad del sector eléctrico eje normativa y estandarización”; donde se rigen normativas de estaciones de carga de los distintos modos de carga.

Ley Orgánica de Eficiencia Energética: Capítulo III de los sectores regulados menciona que: “partir del año 2025 todos los vehículos que se incorporen al servicio de transporte público urbano e interparroquial, en el Ecuador continental, deberán ser únicamente de medio motriz eléctrico. En el caso de la región Insular, esta medida será evaluada por el CNEE”

ITC-BT-18: Instalaciones de puesta a tierra, el objetivo de esta normativa es establecer los límites de tensión con respecto a tierra que se puedan presentar en las masas en un momento dado, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados.

ITC-BT-17: Esta normativa técnica trata sobre la protección de las instalaciones eléctricas interiores contra sobretensiones transitorias transmitidas por la red de distribución por las descargas atmosféricas, conmutaciones de redes y defectos de estas.

CPE INEN 19:2001: Código De Práctica, CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL. El objetivo de este código es la salvaguardia de las personas y de los bienes contra los riesgos que pueden surgir por el uso de la electricidad (NTC, 1998).

Catálogo Digital “Redes de Distribución de energía eléctrica”: Dentro de este catálogo Digital se encuentran los Códigos Up y UC establecidos por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, el documento presenta un énfasis en el apartado de movilidad eléctrica.

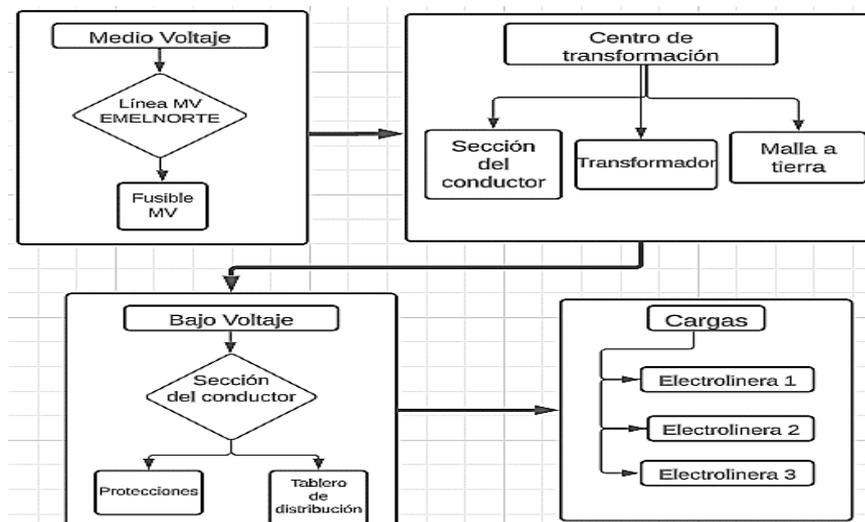
2.2. Propuesta de Diseño

Según lo mencionado, se realiza una propuesta de diseño para dimensionar la estación de carga.

La elección de la Universidad Técnica del Norte como punto de partida para la implementación del proyecto es estratégica y con visión de futuro. Si bien el diseño inicial se enfoca en la UTN, es fundamental destacar que este diseño tiene un alcance más amplio, siendo aplicable en cualquier otra locación donde se pretenda establecer una estación de carga para vehículos eléctricos (VE). La razón detrás de esta selección radica en la comodidad y facilidad que brinda la UTN como un terreno de prueba ideal para el diseño piloto.

Figura 4.

Propuesta de diseño en diagramas de flujo.



Nota. La figura precisa el diagrama de bloques, donde se especifica todos los ámbitos en los que se trabajarán dentro del proyecto.

En la Figura 4, se presenta un diagrama de flujo que organiza el dimensionamiento por fases en cuatro cuadros, cada uno abordando una etapa específica del diseño. En la primera fase, se aborda la red de medio voltaje, considerando la infraestructura de la Empresa Regional Norte (EMELNORTE), donde se incorpora un fusible para la protección de la estación de carga y se realiza la transición de red aérea a subterránea.

En el cuadro de centro de transformación, se trabaja en varias etapas, comenzando con la selección del conductor para alimentar el transformador, seguido por la elección del transformador tomando en cuenta el número de cargadores y su potencia, esto; considerando las especificaciones para una red soterrada. Se desarrolla un diseño de la malla a tierra para proteger la estación contra sobrecargas y preservar la integridad de los equipos.

El cuadro de red de bajo voltaje se enfoca en determinar el conductor necesario para alimentar el cuadro de distribución de carga, que a su vez suministra energía a los tres cargadores en Modo 4, constituyendo el último punto del proceso.

La UTN cuenta con una red eléctrica trifásica, una característica esencial que facilita la instalación del transformador necesario para abastecer de energía a la estación de carga de VE. En etapas posteriores, se dimensionarán los aspectos eléctricos, abarcando elementos como conductores, sistemas de protección, y la infraestructura subterránea, entre otros, para garantizar la funcionalidad óptima de la estación de recarga.

2.3. Propuesta de Ubicación de Electrolinera en la Ciudad de Ibarra

La propuesta incluye la instalación de una estación de carga rápida con la Universidad Técnica del Norte como el punto de enfoque para el estudio y desarrollo del proyecto. La UTN está en la ciudad de Ibarra, en la provincia de Imbabura, concretamente en el sector El Olivo. Esta elección se fundamenta en la ubicación estratégica de la universidad, que servirá como un punto de partida ideal para el diseño y posible implementación futura de la estación de carga y como modelo para futuros despliegues en otros lugares.

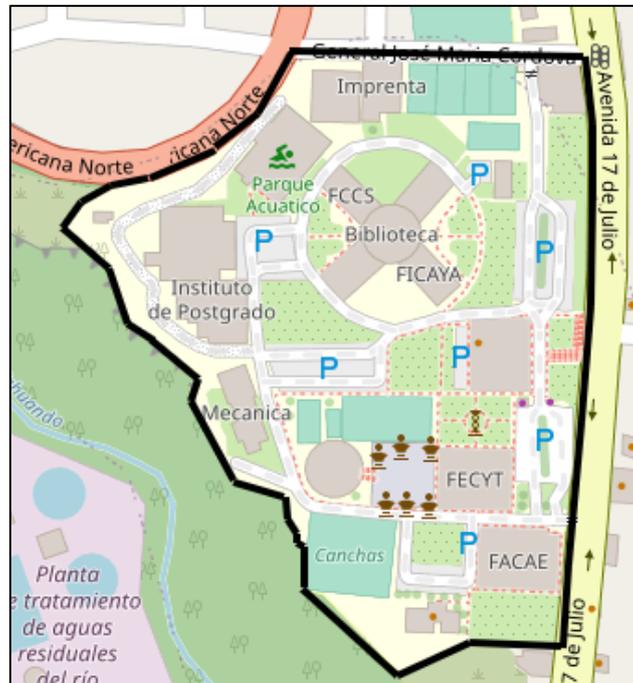
2.3.1. Delimitación del Área

El campus principal de la Universidad Técnica del Norte está en Ibarra, en la avenida 17 de julio 5-12 y General José María Córdova. Este campus abarca actualmente una extensión de 91,332.62 metros cuadrados, donde se distribuyen diversas facultades dedicadas a diferentes campos educativos, instalaciones deportivas, zonas de estacionamiento, áreas verdes y otros espacios.

Entre estas áreas verdes se ubican las líneas de medio voltaje (MV), lo que hace que la elección de un sitio óptimo y de fácil acceso a la red sea una elección acertada para la propuesta de instalación de la estación de carga. En la Figura 5, se ofrece una representación visual que demarca la extensión de la zona universitaria.

Figura 5.

Delimitación del área de la Universidad Técnica del Norte.



Nota. Adaptado del Geoportal EMELNORTE, de GIS EMELNORTE, 2023, (EMELNORTE, 2023).

La elección de esta ubicación en la Universidad Técnica del Norte se basa en su conveniente accesibilidad y permite proponer un diseño y dimensionamiento de la estación de carga sin gestionar permisos o realizar estudios exhaustivos, ya que solo es una propuesta de diseño, no una implementación.

2.3.2. Selección del Lugar a Ubicarse la Estación de Carga.

La propuesta de instalación contempla la cuidadosa selección de un emplazamiento idóneo dentro de la universidad. El lugar elegido cumple con el requisito de estar en proximidad a una red de media voltaje (MV) que cuente con la capacidad necesaria para derivar la red de alimentación hacia la estación de carga.

Para garantizar una conexión eléctrica eficaz y confiable para la estación de carga, asegurando un óptimo suministro de energía para los vehículos eléctricos. El espacio verde elegido para la estación de carga está entre el polideportivo y el parque acuático de la UTN, como se muestra en la Figura 6.

Figura 6.

Propuesta para el lugar de ubicación de la estación de carga.



Nota. Adaptado del Google Maps, de CNES/Airbus, 2023, (CNES, 2023).

Esta elección se basa en varias consideraciones fundamentales, como la amplitud del espacio disponible, y su proximidad al punto de medición de MV de la Universidad.

2.3.3. Descripción de la Red Aérea de Distribución en la Zona de la Estación de Carga

La red de suministro eléctrico de la Universidad Técnica del Norte entra al campus desde el lado noroeste, a través del poste de hormigón circular identificado como PHC12_500 con el número de registro 159438, según los datos recopilados de la base de datos eléctricos proporcionada por la Empresa Regional Norte EMELNORTE (EMELNORTE, 2023).

Figura 7.

Delimitación del área de la Estación de carga dentro de las instalaciones de la U.T.N



Nota. Adaptado del Geoportal EMELNORTE, de GIS EMELNORTE, 2023, (EMELNORTE, 2023).

La red de alimentación se origina en la subestación Ajaví y se distribuye a través del alimentador 1, denominado ALIM-AJAVÍ 1, caracterizado por un voltaje de línea a línea de 13,8 kV. Estos detalles son esenciales para comprender la infraestructura eléctrica existente en la universidad y su relación con el suministro eléctrico requerido para la estación de carga. En la Figura 7, se presenta una gráfica de la red de alimentación eléctrica hasta el punto de derivar la red para instalar la estación de carga.

2.4. Materiales y Ecuaciones a Usarse para la Ejecución del Proyecto

Este apartado, muestra las ecuaciones, tablas, y guías de anexos para el desarrollo del dimensionamiento eléctrico de la estación de carga de VE, así como; menciona distintas partes introductorias que se tratarán al final del capítulo.

2.4.1. Ecuación Para el Cálculo de Corriente

Para el cálculo de la corriente nominal de todo el sistema usando la Ecuación (1) usando los datos proporcionados por el model Raption 50 (Paúl Barros et al., 2018).

$$I_{nom} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} \quad (1)$$

Donde:

- I_{nom} : Corriente nominal máxima del diseño [A]
- P : Potencia activa del transformador [kW]
- $\cos \varphi$: Factor de potencia
- V : Voltaje de la red [V]

Mientras que para el cálculo de la potencia activa se usa la Ecuación (2)

$$P = S \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

Donde:

- S : Potencia Aparente [kVA]

2.4.2. Pérdidas en el Conductor

Según la normativa ITC_BT_07, establece que la densidad de cortocircuito en A/mm^2 , para conductores de cobre se debe escoger según el tipo de aislamiento y determinar si su sección es menor o mayor a $300 mm^2$ (ITC-BT-07, 2004).

Usando la Ecuación (3) se puede calcular la corriente de cortocircuito que soporta el conductor.

$$I_{cc} = S * \sigma \quad (3)$$

Donde:

- I_{cc} : Corriente de cortocircuito [A]
- S : Sección del conductor [mm^2]
- σ : Densidad de corriente

❖ Resistencia de la línea

La resistencia de la línea hace referencia a la oposición que presenta un conductor eléctrico al flujo de corriente que circula por el mismo.

Con la Ecuación (4) se calcula la resistencia total de la línea (ITC-BT-07, 2004).

$$R_{Tot_Linea} = R_{linea} * L_{linea} \quad (4)$$

Donde:

- R_{Tot_Linea} : Resistencia total de la línea
- R_{Linea} : Resistencia de la línea en [Ω/km]

- $L_{línea}$: Distancia de la línea [km]

❖ Reactancia de la línea

La reactancia de la línea es la medida de la oposición que presenta una línea eléctrica al flujo de corriente alterna que circula por ella.

En la Tabla del Anexo F muestra la reactancia de los conductores por sección del conductor para una instalación trifásica hasta 600V a 60Hz y 75°C en tubos PVC o Conduit.

La Ecuación (5) se usa para el cálculo de la reactancia general de la línea MV (Mujal, 2002).

$$X_{T-L} = x_l * L_l \quad (5)$$

Donde:

- X : Reactancia total de la línea
- X_l : Reactancia de la línea en [Ω/km]
- L_l : Distancia de la línea [km]
- ❖ Caída de voltaje

La caída de voltaje es una pérdida de energía eléctrica que ocurre cuando el voltaje de una instalación eléctrica disminuye a medida que se aleja del punto de suministro.

La Ecuación (6) precisa la caída de voltaje usando datos como la reactancia, resistencia y distancias de la línea (Mujal, 2002).

$$\Delta U = \sqrt{3} * I * L * (R * \cos \varphi + X * \sin \varphi) \quad (6)$$

Donde:

- ΔU : Caída de voltaje [V]
- L : Longitud del conductor [m]
- I : Corriente nominal de la línea [A]

- X : Reactancia [Ω/km]

❖ Caída de voltaje porcentual

La caída de voltaje porcentual es una medida que se utiliza para evaluar la pérdida de energía eléctrica en una línea de transmisión o distribución de energía eléctrica (Mujal, 2002). La caída de voltaje no debe pasar el 5% para receptores de fuerza según lo establecido en las normativas del CPE INEN 19:2001, para el cálculo de esta se usa la Ecuación (7).

$$\Delta U\% = \left(\frac{P * L}{10 * U^2 * \cos \varphi} \right) * (R * \cos \varphi + X * \sin \varphi) \quad (7)$$

Donde:

- $\Delta U\%$: Caída de voltaje porcentual [%]
- U : Voltaje en red MV [kW]
- L : Longitud del conductor subterráneo [km]
- X : Reactancia [Ω/km]
- R : Resistencia por fase [Ω/km]
- P : Potencia activa del transformador [kW]
- ❖ Pérdidas de Potencia

Las pérdidas de potencia en un sistema eléctrico se refieren a la cantidad de energía eléctrica que se pierde durante la transmisión y distribución de la energía eléctrica (Paúl Barros et al., 2018). Para el cálculo de pérdidas de potencia usamos la Ecuación (8).

$$\Delta_{Ppl} = 3 * I_{nom}^2 * R_l * L_l \quad (8)$$

Donde:

- Δ_{Ppl} : Perdida de potencia en la línea [W]
- I_{nom}^2 : Corriente nominal de la línea [A]
- R_l : Resistencia de la línea [Ω/km]

- L_l : Longitud de la línea [km]
- ❖ Pérdidas de potencia en porcentaje

La pérdida de potencia porcentual es una medida de la eficiencia de un sistema eléctrico. Esta medida se utiliza para determinar la cantidad de energía que se pierde en un sistema debido a la resistencia y reactancia de las líneas y equipos eléctricos, con la Ecuación (9) se obtiene la caída de potencia en porcentaje (Paúl Barros et al., 2018).

$$\Delta_{ppl}\% = \frac{P * R_l * L_l}{10 * U^2 * \cos^2\varphi} \quad (9)$$

Donde:

- $\Delta_{ppl}\%$: Pérdida de potencia en porcentaje [%]
- P : Potencia activa del transformador [kW]
- R_l : Resistencia de la línea [Ω/km]
- L_l : Longitud de la línea [km]
- U^2 : Voltaje de la línea MV [kW]
- $\cos^2\varphi$: Factor de potencia

2.4.3. Malla a Tierra

El cálculo de malla de puesta a tierra posee aspectos técnicos a considerar al calcular, es muy importante considerar el tipo de suelo, longitudes, profundidades, distancia y ángulos.

- ❖ Resistencia del terreno

El método Wenner se usa en aplicaciones que involucran el mallado a tierra. Consiste en la disposición de picas a distintas distancias y ángulos para obtener datos significativos sobre las características del terreno. Este enfoque se alinea con las directrices establecidas por el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) en su normativa std80-2000. Para calcular la resistencia del terreno, se aplica la Ecuación, permitiendo así una evaluación precisa y normativamente respaldada de las propiedades del suelo en el contexto del sistema eléctrico. Para el cálculo de la resistencia del terreno se aplica la Ecuación (10) (Mariani, 2007).

$$\rho = 2\pi * d * r \quad (10)$$

Donde:

- d : Distancia [m]
- r : Resistencia obtenida

Con estas mediciones se realiza un promedio que se obtiene de la Ecuación (11), dividiendo estos valores para el numero de mediciones halladas (Mariani, 2007).

$$\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4 + \rho_5}{n} \quad (11)$$

❖ Resistencia del mallado a tierra (resistencias: tierra y varilla)

Para el cálculo de la resistencia del mallado a tierra se obtiene de las Ecuaciones (12) y (13) respectivamente (Mariani, 2007).

$$R_{malla} = \rho \left[\frac{1}{L_{tot}} + \frac{1}{\sqrt{20} * A} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \quad (12)$$

$$R_{varilla} = \frac{\rho}{2\pi * L} * \left[\ln \left(\frac{8 * l_{varilla}}{d_{varilla}} - 1 \right) \right] \quad (13)$$

Donde:

- R_{malla} : Resistencia de la malla [Ω]
- L : Longitud del conductor [m]
- r : Radio de la malla [m]

- h : Profundidad de enterramiento del conductor [m]
- ρ : Resistividad promedio
- $R_{varilla}$: Resistencia de la varilla
- $l_{varilla}$: Longitud de la varilla [m]
- $d_{varilla}$: Diámetro de la varilla

Para obtener el valor total del sistema de malla a tierra se aplica la Ecuación (14), teniendo en cuenta el radio de la varilla de cobre, en número de varillas y la resistencia previamente calculada (Mariani, 2007).

$$R_{Tmalla} = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{R_{varilla}}\right) * n_{varillas}\right] + \frac{1}{R_{malla}}} \quad (14)$$

2.4.4. Unidades de Propiedad y Construcción

El ministerio de energía y minas establece normativas para construir redes aéreas, subterráneas, movilidad eléctrica, entre otras, para normalizar equipos y materiales en la construcción de redes y equipos eléctricos.

Figura 8.

Campos de las unidades de propiedad y construcción



Nota. Adaptado del Catálogo Digital Manual de Construcción de redes Subterráneas, del Ministerio de Energía y Minas, 2022, (MEER, 2022).

Para identificar las estructuras de planteó 5 campos como se observa en la Figura 8; según el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER, 2022) menciona que: “estos 5 campos, dos son usados para definir las unidades de propiedad y tres para definir las unidades de construcción”, los cuales pueden ser de orden alfabéticos, numéricos o simbólicos.

2.4.5.1. Unidades de Propiedad.

El campo 1 está conformado por dos caracteres alfabéticos en mayúsculas, denominado GRUPO, que define la Unidad de Propiedad (MEER, 2022).

El campo 2 está conformado por un carácter alfabético en mayúscula, denominado NIVEL DE VOLTAJE, que indica los voltajes utilizados actualmente en el país (MEER, 2022).

2.4.5.2. Unidades de Construcción.

El campo 3 está conformado por un carácter numérico, denominado NÚMERO DE FASES o VÍAS, o FASES e HILOS, cuya definición depende de la Unidad de Propiedad. En los campos en los cuales el elemento no aplica en las características establecidas, se usará el carácter "0", para completar el código (CNEL, 2011).

El campo 4 está conformado por un carácter alfabético en mayúsculas, denominado DISPOSICIÓN o TIPO.

El campo 5 está conformado de hasta 10 caracteres alfabéticos (mayúsculas), numéricos y/o signos, denominado FUNCIÓN o ESPECIFICACIÓN, e indica las principales características técnicas del elemento y/o su función. En los campos en los cuales el elemento no aplica en las características establecidas, se usará el carácter "0", para completar el código (MEER, 2022).

Estos campos se usarán para identificar las unidades propiedad que conforman el sistema de distribución para estandarizar y homologar cada material y equipo constructivo, así como especificaciones técnicas de estos materiales y equipos de mayor uso dentro del sistema energético del Ecuador.

2.5. Diseño del Sistema Eléctrico y Obra Civil

Se plantea un circuito unifilar del sistema eléctrico de la estación de carga de vehículos eléctricos (ver Anexo G). Mientras que en la Figura 9 se observa un diseño 3D de la estación de carga rápida de vehículos eléctricos, mientras que las especificaciones para el diseño de la obra civil se muestran más adelante.

Figura 9.

Modelado 3D de la Estación de Carga (electrolinera)

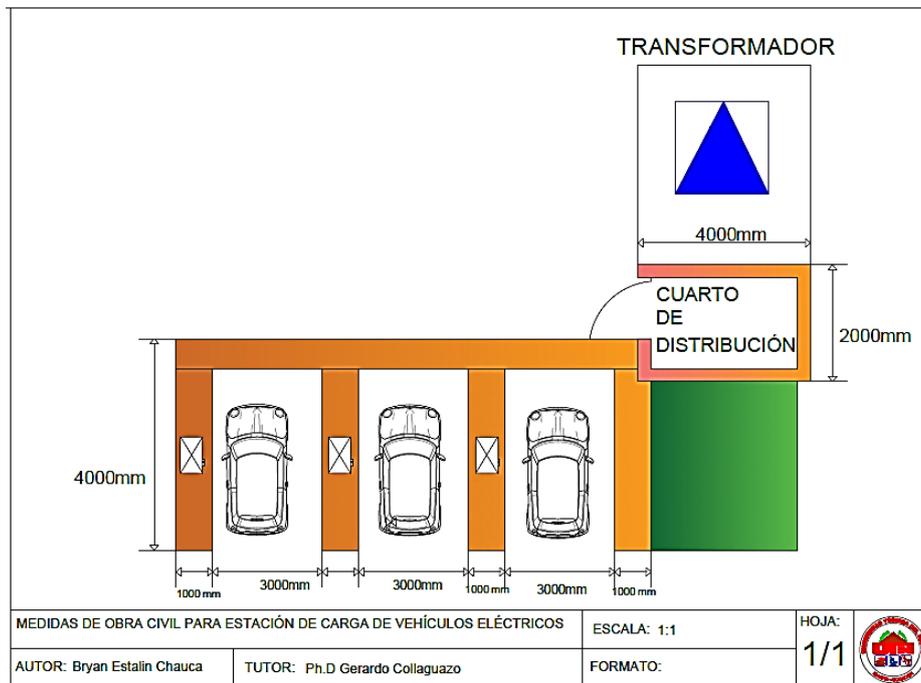


Nota. La figura muestra un diseño modelado en 3D proyectado para la estación de carga de vehículos eléctricos; donde se observan los estacionamientos y cargadores.

En la figura hay un esquema del diseño civil que, aunque no forma parte del enfoque central de este estudio, se incluye para permitir al lector visualizar la posible disposición de la estación de carga si se realiza la implementación. Los detalles específicos de la obra civil quedan a discreción y responsabilidad del constructor, quien deberá ajustar el diseño según las condiciones y requerimientos específicos.

2.5.1. Medidas de Obra Civil

La obra civil se basará en medidas de los vehículos eléctricos, el número de cargadores para el caso de estudio son 3; por lo tanto, se tendrá tres estacionamientos de 3000 mm de ancho por 4000 mm de largo cada uno. Mientras que en la parte posterior están los cuadros de protecciones de BV, las cajas de distribución, donde también se ubica el centro de transformación, para esto se usarán las medidas del transformador dadas por el fabricante, el área de ocupación de la estación de carga se observa en la Figura 10. Los espacios se han distribuido estratégicamente para albergar hasta tres vehículos que pueden conectarse directamente a los cargadores en modo 4.

Figura 10.*Medidas de obra civil.*

Nota. La figura establece una proyección de las medidas que se tomarán en consideración para el diseño de la obra civil de una estación de carga de vehículos eléctricos.

En la parte posterior del diseño, se ha dispuesto un cuarto de distribución desde el cual se distribuirán las cargas a las electrolineras alimentadas por el centro de transformación. Finalmente, el transformador está en la parte trasera, y sus especificaciones se detallan más adelante.

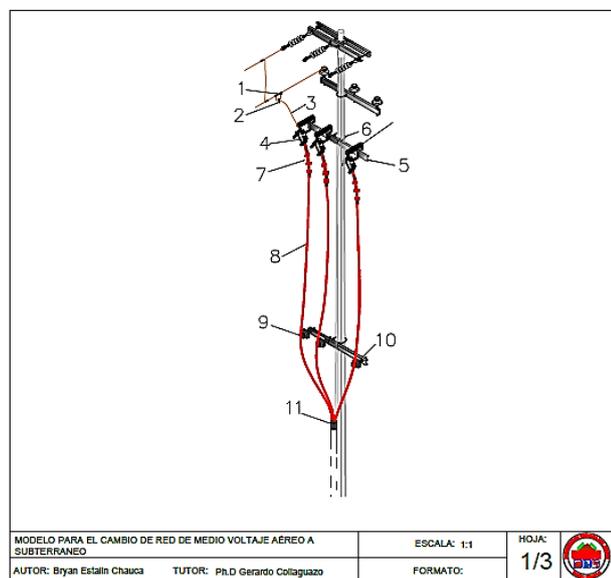
2.5.2. Diseño Eléctrico

A continuación, se presenta un modelo de diseño para la red soterrada, el punto de conexión estará ubicado en el poste número 105124, luego de procederá a la ubicación de un fusible de tipo "40 T", posteriormente se bajará la acometida principal en derivación secundaria al primer pozo el cual estará cerca del poste de derivación, luego la acometida de MV seguirá por los siguientes pozos hasta llegar al transformador, esta información se obtiene de la base de datos y simuladores de la empresa eléctrica regional norte EMELNORTE. La Figura 11 ofrece una representación visual del modelo de la red subterránea que conduce hasta el transformador Tipo pedestal de 200 kVA.

Esta decisión garantiza que la instalación cumpla con los estándares y regulaciones pertinentes, preparando la infraestructura necesaria para el suministro eléctrico de la estación de carga. La Tabla 5 muestra las estructuras existentes en el poste de derivación para la red de MV, donde se realizará la conexión y la transición de la red aérea a soterrada. La Figura 12 muestra un modelo de diseño para el cambio de red aérea a subterránea bajo normativas de construcción ecuatorianas.

Figura 12.

Modelado 3D de transición de red eléctrica a subterránea.



Nota. El modelado 3D presenta un modelo de diseño de la estructura y los puntos a tomar en consideración para la selección de materiales.

Para el cambio o transición de medio voltaje aéreo a subterráneo se usarán los siguientes materiales:

- 1) Estribo de aleación de CU, para derivación de red
- 2) Grapa de aleación de AL, para derivación en línea caliente
- 3) Conductor de CU desnudo sólido para MV
- 4) Seccionador portafusible abierto con fusible tipo 40T
- 5) Cruceta de acero galvanizado, universal, perfil "L" 75 x 75 x 6 x 2000 mm
- 6) Perno "U" de acero galvanizado, 2 tuercas, 2 arandelas planas y 2 presión, de 16 x 152 mm (5/8" x 6").
- 7) Terminales termos contráctiles con tres campanas
- 8) Conductor XLPE 2/0 AWG
- 9) Aislador PIN
- 10) Cruceta Galvanizada

11) Tubo Conduit o EMT

Los números membretados en el gráfico están de acuerdo con el listado de materiales, algunos de estos pueden ser reemplazados o aumentados según el constructor sin dejar de lado las normativas de construcción y unidades de propiedad.

2.5.4. Pozos de Revisión

Los pozos de revisión están de acuerdo con las normativas ecuatorianas establecidas en las normativas UC y UP, apartado de subterráneas > construcción.

2.5.4.1. Dimensiones.

Para el pozo de revisión del proyecto se usará el Tipo B establecido en las normas UC y UP. El pozo tipo B presenta dimensiones de 900 mm en longitud, anchura y profundidad, como detalla la Tabla 6.

Tabla 6.

Tipos de pozos de revisión según el catálogo UC y UP.

TIPOS	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Aplicación
Tipo A0	0.40	0.40	0.40	AP
Tipo A	0.60	0.60	0.75	AP-ACOMETIDA
Tipo B	0.90	0.90	0.90	MV –BV-AP
Tipo C	1.20	1.20	1.20	MV –BV-AP
Tipo D	1.60	1.20	1.50	MV –BV-AP
Tipo E	2.50	2.00	2.00	MV –BV-AP
<ul style="list-style-type: none"> Las profundidades indicadas en la tabla son mínimas y podrá aumentar dependiendo de cantidad de ductos a instalarse. Los pozos tipo C serán utilizados para derivaciones en bajo voltaje En el pozo tipo E se podrán colocar módulos premoldeados para derivación y seccionamiento. Se podrá implementar pozos con dimensiones variables dependiendo de las condiciones constructivas, previa aprobación de la ED. 				

Nota. El catálogo de las unidades de propiedad y construcción, estandarizan los pozos de revisión según el uso o necesidad, siendo para alumbrado público (AP), acometidas, medio voltaje y bajo voltaje. Adaptado del Catálogo Digital Manual de Construcción de redes Subterráneas, del Ministerio de Energía y Minas, 2022, (MEER, 2022).

Estos pozos se utilizan específicamente para aplicaciones de medio voltaje (MV) y son esenciales en la construcción de la estación de carga. Su diseño y tamaño proporcionan la capacidad requerida para albergar y proteger adecuadamente los componentes eléctricos asociados con la infraestructura de media tensión, garantizando así la funcionalidad y la seguridad de la estación de carga. Estos pozos pueden construirse para soportar redes de medio voltaje, bajo voltaje y alumbrado público.

2.5.4.2. Pozos para Red de Medio Voltaje.

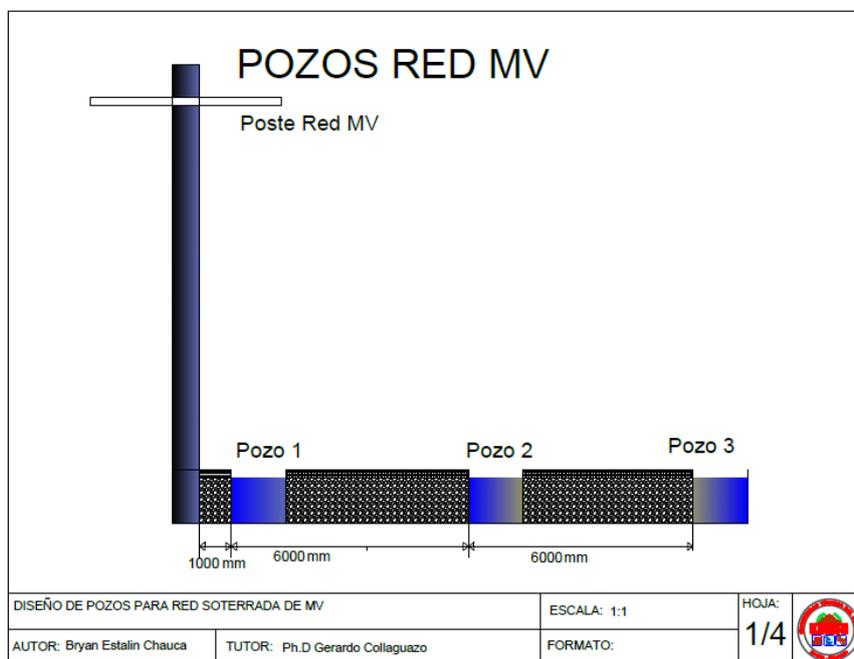
La configuración para pozos por donde irá la red de medio voltaje (MV) se basará en un diseño de configuración de 3x3 de 110mm en calzada. En total, se instalarán tres pozos en el trayecto hacia el centro de transformación.

Esta distribución de pozos y configuración de la red asegura una conexión eficiente y segura entre la fuente de alimentación y el centro de transformación de la estación de carga. En la Figura 13, se presenta un diseño en AutoCAD que detalla las medidas y la disposición entre los pozos destinados al enterramiento de la red de MV.

Este diseño proporcionará una visualización precisa y detallada de la distancia y la organización de los pozos, que son esenciales para la infraestructura subterránea de la estación de carga.

Figura 13.

Modelado de pozos de revisión para red MV, incluyendo medidas entre estos.



Nota. Se diseñarán tres pozos de revisión, a distancia adecuadas para no interferir en zonas transitadas por vehículos.

El pozo #1 se ubicará a 1 m del poste de derivación, el pozo #2 se ubicará a 6 metros del pozo principal, finalmente el pozo #3 se ubicará a 12 metros del pozo #2, este estará cerca del pozo que se ubicará debajo del transformador.

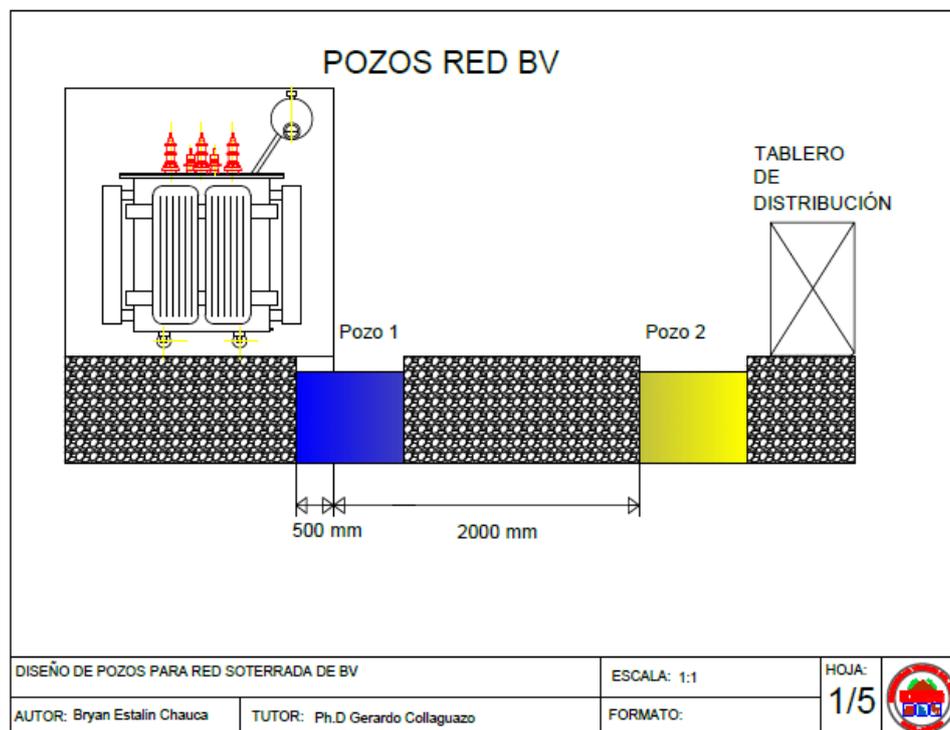
2.5.4.3. Pozos para red BV.

Los pozos destinados a la red de bajo voltaje se diseñarán de manera que permitan que las salidas del transformador se dirijan directamente hacia el pozo debajo del mismo. Luego, a unos 2000 mm, se dispondrá un segundo pozo de revisión cerca del tablero de distribución y protección. Esta disposición facilita la gestión y el mantenimiento eficientes de la infraestructura eléctrica de bajo voltaje, asegurando un flujo de energía fiable y una supervisión adecuada en la estación de carga.

La Figura 14 ilustra la ubicación de los pozos y las distancias con respecto al tablero de distribución. Desde este tablero de distribución, se llevará a cabo la distribución de la energía hacia los cargadores eléctricos, asegurando la correcta alimentación de los vehículos.

Figura 14.

Modelado de pozos para bajo voltaje hasta el tablero de distribución, incluyendo medidas.



Nota. El diseño de los pozos de BV estarán bajo características de catalogo UC y UP, serán necesarios dos pozos hasta el tablero de revisión.

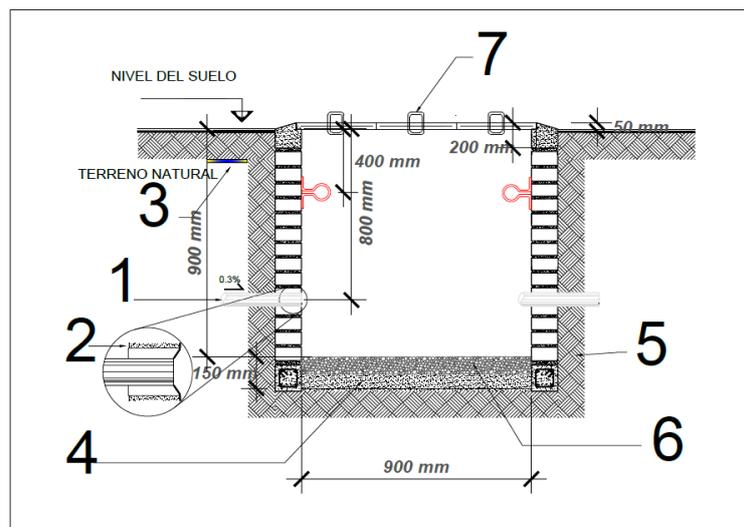
Bajo el transformador existe un pozo, para que las entradas al lado primario y salidas del secundario sean más fáciles al conectar a sus respectivos bornes.

❖ Membretado de los pozos de revisión

EU0-0B1x3B2 → Estructura para redes subterráneas, banco de ductos, configuración 1 fila por 3 columnas de 110 mm en calzada.

Figura 15.

Modelado de pozos incluyendo aspectos de terreno y medidas.



Nota. Según las especificaciones técnicas, los pozos deben realizarse para que el agua que ingrese pueda absorberse por el terreno, mientras que los conductores no deberían topar el suelo para evitar la corrosión. Fuente: (Cornejo, 2020).

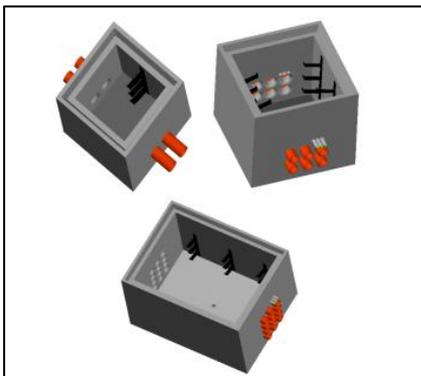
Se especifica los materiales a usarse en el diseño de pozos para redes subterráneas, donde:

1. Tubo PVC de pared lisa y pared exterior corrugada de 110mm
2. Separador de tubería PVC 1 fila x 3 columnas
3. Cinta de señalización
4. Suelo (tierra/arena)
5. Material de relleno (Arena)
6. Ripio
7. Tapa de hormigón armado

Los materiales que usarán en el caso del proyecto bajo calzada y el material de relleno hasta de 100 mm por encima del ducto superior, encima del banco de ductos se ubicará un material de relleno, arena; hasta llegar a la capa de subbase que se compactará para ubicar el adoquín, las numeraciones del listado de materiales están según la Figura 15.

Figura 16.

Modelado 3D de pozos, especificado en el catálogo UC y UP.



Nota. Adaptado del Catálogo Digital Manual de Construcción de redes Subterráneas, del Ministerio de Energía y Minas, 2022, (MEER, 2022).

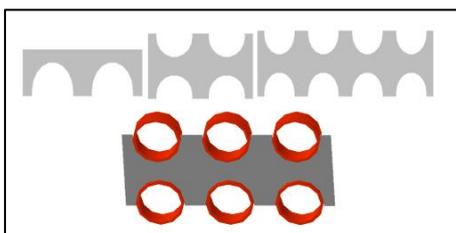
Los pozos de tipo B se diseñarán para alojar los 3 tubos de PVC, como se aprecia en la Figura 16 que presenta un diseño 3D. Estos tubos serán responsables de contener los conductores derivados de la red de media tensión, asegurando un canal seguro y organizado para el suministro de energía hacia el centro de transformación. El modelado 3D ofrece una representación visual que permite observar cómo estos componentes se integran en la infraestructura.

2.5.4.4. Separadores de Tubería.

En la estructura civil de red subterránea se deberán usar separadores construidos con láminas de PVC. La separación debe ser horizontal y vertical mínima de 500 mm independientemente del diámetro de tubería, mientras que la distancia longitudinal estará entre 2500 a 3000 mm. Estos separadores tienen un diseño tipo u, para que los tubos encajen en esos moldes, como se observa en la Figura 17.

Figura 17.

Modelado de separadores de tuberías, especificado en el catálogo UC y UP.



Nota. Adaptado del Catálogo Digital Manual de Construcción de redes Subterráneas, del Ministerio de Energía y Minas, 2022, (MEER, 2022).

2.5.4.5. Cinta de Señalización.

La banda de señalización se ubicará en todo el trayecto del banco de ductos, a una profundidad de 200 mm, tomados desde el piso terminado o calzada, si la zanja es menor a 500 mm se colocará una banda de señalización, caso contrario si esta es mayor a 500 mm se colocarán dos cintas.

Figura 18.

Formato de membretado en cintas de señalización según el catálogo digital UC y UP.



Nota. Adaptado del Catálogo Digital Manual de Construcción de redes Subterráneas, del Ministerio de Energía y Minas, 2022, (MEER, 2022).

Como se muestra el modelo de la Figura 18 las bandas usan el siguiente formato:

1. Señal de peligro bajo normas ISO 3864
2. Leyenda de advertencia de cables eléctricos
3. Logotipo de la empresa eléctrica

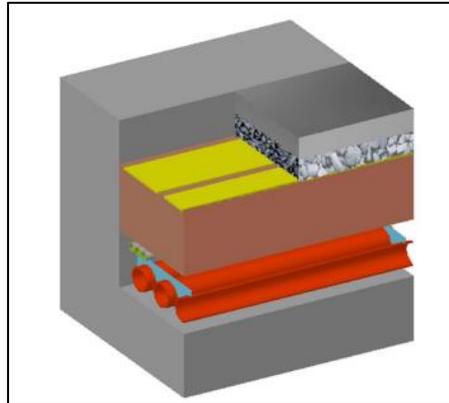
Este listado de membretado es tomado de la página del Catálogo Digital del Ministerio de Energía y Minas (MEER, 2022).

2.5.4.6. Ductos.

Los conductores se dispondrán bajo tierra a través de tuberías de PVC o HDPE de pared estructurada y superficie interna lisa, específicamente de Tipo B para aplicaciones de red de media tensión. Estas tuberías tendrán un diámetro de 110 y 160 mm, y se organizarán en una configuración de 1 fila por 3 columnas, lo que significa que se dispondrá una sola fila con tres conductos paralelos. Esta configuración proporciona una disposición ordenada y eficaz para el diseño de la zanja, asegurando un alojamiento seguro y una distribución eficiente de los conductores.

Figura 19.

Modelado 3D de pozos de revisión con tuberías PVC o HDPE.



Nota. Adaptado del Catálogo Digital Manual de Construcción de redes Subterráneas, del Ministerio de Energía y Minas, 2022, (MEER, 2022).

Como se observa en la Figura 19, los ductos están bajo diferentes capas, estipuladas en los apartados 2.5.4.1 hasta el 2.5.4.5, donde se establecen diferentes parámetros para el diseño de los pozos.

2.5.4.7. Tapas.

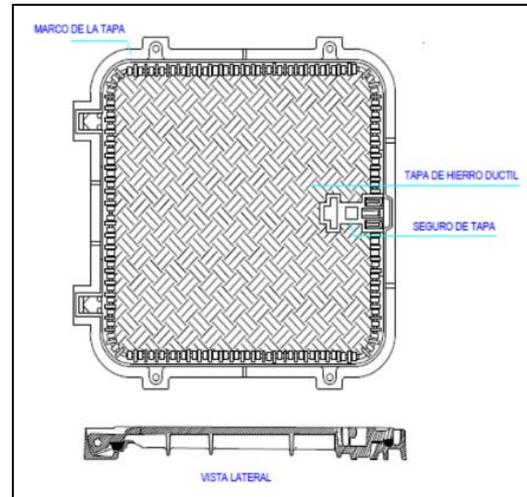
Todos los pozos cuentan con tapas diseñadas pensando en la seguridad tanto de peatones como de vehículos. Estas tapas se fabrican con materiales resistentes como grafito esferoidal, acero dúctil o hierro nodular. Además, incorporan un mecanismo de cierre seguro de 1/4 de vuelta con llaves.

Estos modelos de tapas están equipados con un soporte antideslizante, garantizando la estabilidad y seguridad para los usuarios, ya sean vehículos o peatones, al evitar resbalones y accidentes en la superficie. Según la norma NTE INEN 2 496:2009, en su inciso (e), punto 10 referente al rotulado, como se ilustra en la Figura 20, el propietario está obligado a incluir la siguiente información técnica:

1. Siglas de la empresa eléctrica
2. Nivel de voltaje
3. Año de fabricación
4. Numeración de la tapa

Figura 20.

Modelado de las tapas para pozos eléctricos de revisión, especificados en Catálogo Digital.



Nota. Adaptado del Catálogo Digital Manual de Construcción de redes Subterráneas, del Ministerio de Energía y Minas, 2022, (MEER, 2022).

Cumplir con estas directrices garantiza que las tapas estén debidamente identificadas y proporciona información crucial tanto para el propietario como para los técnicos y usuarios que puedan necesitar acceder a ellas. Este listado para membretado de tapas de pozos eléctricos de revisión es tomado de la página del Catálogo Digital del Ministerio de Energía y Minas (MEER, 2022).

2.5.4.8. Pisos de los Pozos.

Para el revestimiento del fondo de los pozos, se llevará a cabo una construcción sin hormigón, utilizando en su lugar un material filtrante, como grava o ripio de tamaño reducido. El propósito de esta capa es permitir que el agua drene hacia la parte inferior del pozo, donde será absorbida por la tierra circundante. Esta capa filtrante tendrá un espesor mínimo de 100 mm y cubrirá toda el área de la base del pozo, asegurando así un eficaz sistema de drenaje (MEER, 2022).

2.5.5. Selección del Transformador.

El transformador designado para la estación de carga se realizará de acuerdo con la potencia aparente de cada cargador, se escogerá el transformador de tipo pedestal Pad Mounted. A continuación, se especificarán todos los parámetros que se usaron para la selección del transformador.

Para el diseño de la estación de carga se usarán 3 cargadores, dependiendo el tipo de conector, el Ministerio de Energía y Minas establece, el modelo de conector CSS Combo 2, algunas de las especificaciones técnicas se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7.

Especificaciones técnicas del cargados CSS establecidas en el Catálogo Digital UC y UP.

Modelo CCS Combo 2	
Descripción	Especificación
Modo de carga	4
Tipo	DC
Voltaje Nominal	400 V
Frecuencia	60 HZ
FP mínimo	>0,96
Corriente de alimentación	AC
Tipo de conexión	3F+N+PE
Potencia Máxima	53kVA

Nota. Adaptado del Catálogo Digital Manual de Construcción de redes Subterráneas, del Ministerio de Energía y Minas, 2022, (MEER, 2022).

Dependiendo el tipo de cargador la potencia varía, según el Ministerio de Energía y Minas; el cargador para el Modo 4 de carga de VE es el modelo CCS Combo 2. Este cargador posee características diferentes a considerar para el dimensionamiento de equipos y materiales (MIEM, 2022).

2.5.5.1. Intensidad de demanda nominal

La potencia instalada es la potencia aparente (S) sumando las cargas por cargador da un valor de 159 kVA, por lo que para el diseño de la electrolinera se toma el inmediato superior siendo este 200kVA, el factor de potencia es de 0,98 según la hoja técnica del modelo de electrolinera Raption50.

Por lo que al aplicar la Ecuación (2) sustituyendo el valor de potencia aparente por el factor de potencia se obtiene un valor de potencia activa de:

$$P = 155,82$$

Estos valores se reemplazan en la Ecuación (1), con los datos obtenidos de potencia activa, factor de potencia del cargador Raption50 y el voltaje de la red obteniendo así un valor de corriente nominal de:

$$I_{nom} = 8,36$$

Este valor es el que demanda la red para la alimentación del transformador.

Tabla 8.

Cuadro de datos eléctricos por cargador de la estación de carga.

# Electrolíneas	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencias		Factor de Potencia (fp)	# Líneas	Pot Total kVA
			kW	kVA			
E1	400	76	51,94	53	0,98	3F+N+PE	53
E2	400	76	51,94	53	0,98	3F+N+PE	53
E3	400	76	51,94	53	0,98	3F+N+PE	53
Potencia total kVA							159
Potencia total kW							155,82

Nota. Los cargadores de la empresa Circontrol (Modelo: Raption50), tiene una ficha técnica, la cual establece diferentes aspectos técnicos para el cálculo de potencias, así como el número de líneas que alimentan al cargador.

La Tabla 8 proporciona información detallada sobre los cargadores, incluyendo datos como el voltaje, las potencias, y el número de líneas requeridas para cada uno. La elección del transformador se basa en la suma de las potencias aparentes de todos los cargadores, la cual asciende a un total de 159 kVA.

Siguiendo una estrategia de seguridad y eficiencia, se opta por seleccionar un transformador de 200 kVA, que representa el valor inmediatamente superior. Esta elección asegura una capacidad de transformación adecuada para el conjunto de cargadores, teniendo en cuenta posibles expansiones futuras y garantizando un suministro confiable de energía. Las potencias de los transformadores trifásicos proporcionadas por el fabricante se detallan en la Tabla 9.

Tabla 9.

Capacidades de transformadores trifásicos.

Potencia	Tipo Radial				Tipo Malla			
	Dimensiones			Peso	Dimensiones			Peso
P	H	LT	PT	W	H	LT	PT	W
kVA	mm	mm	mm	Kg	mm	mm	mm	Kg
30	1200	–	–	890	1350	–	–	1000
50	1200	–	1100	930	1350	–	1100	1050

75	1200	–	1100	1020	1350	–	1100	1050
100	1200	–	1150	1080	1350	–	1150	1190
125	1200	–	1200	1160	1350	–	1200	1320
150	1175	–	1200	1200	1350	–	1200	1370
200	1225	–	1250	1230	1350	–	1250	1410
250	1225	1500	1250	1300	1400	1700	1250	1500

Nota. Adaptado de la página de PORTOTRANS, de PORTOTRANS, 2023, (PORTOTRANS, 2023).

La elección de la configuración de conexión del transformador será determinada por el usuario. En este caso de estudio, se ha optado por la configuración de tipo malla. Esta elección de configuración es una decisión clave que influye en la distribución de la energía y se ha seleccionado de acuerdo con los requisitos específicos del proyecto.

2.5.5.2. Transformador Tipo Pedestal Pad Mounted.

El transformador tipo pedestal Pad Mounted se instalará en una ubicación que esté protegida de las inundaciones y expuesta a la intemperie.

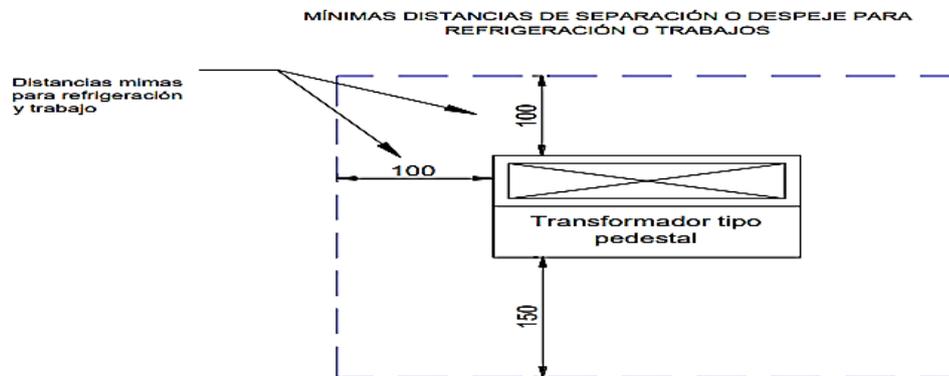
El TRF 3F, que es de tipo malla, se caracteriza por los siguientes elementos generales:

1. Bushings de MV tipo elastoméricos y frente muerto
2. La estructura de los tanques deberá ser con láminas de acero al carbón.
3. Protección MV consiste en un fusible tipo bay-o-net en serie con el fusible limitador de corriente de la red secundaria.
4. El limitador de corriente actúa solo en casos de falla del transformador (MEER, 2022)

La Figura 21 ilustra las distancias mínimas de despeje necesarias para llevar a cabo tareas de mantenimiento o refrigeración dentro del área del centro de transformación. Estas medidas de seguridad son fundamentales para garantizar un entorno de trabajo seguro y eficiente en torno al transformador.

Figura 21.

Distancias mínimas de protección para transformadores tipo pedestal estandarizadas en el Catálogo UC y UP.



Nota. Adaptado del Catálogo Digital Manual de Construcción de redes Subterráneas, del Ministerio de Energía y Minas, 2022, (MEER, 2022).

Instalación

1. Deben instalarse en zonas de fácil acceso
2. Se debe instalar en una base de hormigón
3. Los conductores deben ingresar por la parte inferior
4. Se debe instalar de tal forma que las puertas del gabinete se puedan abrir y cerrar en un ángulo mínimo de 135 grados.
5. El conductor del neutro de conectará a un borne del transformador que se especifica en el tablero de distribución
6. Las partes metálicas se conectan a tierra y también el tanque del transformador
7. La malla a tierra se realiza con suelda exotérmica con conectores apropiados
8. Se debe ubicar placas de seguridad donde señalen: peligro de riesgo eléctrico (MEER, 2022).

Figura 22.

Fotografía de un transformador tipo Pad Mounted al nivel del suelo.



Nota. Estos transformadores pueden estar a la intemperie, en zonas no inundables capaces de soportar el cambio de las temperaturas.

Como se ha destacado previamente, el transformador tipo Pad Mounted se instalará al aire libre, cumpliendo con los requisitos normalizados pertinentes. La Figura 22 representa un diseño de un transformador de tipo pedestal Pad Mounted, y muestra su base de hormigón junto con las compuertas correspondientes tanto para la parte de medio voltaje (MV) como para bajo voltaje (BV).

❖ **Membretado del Centro de Transformación**

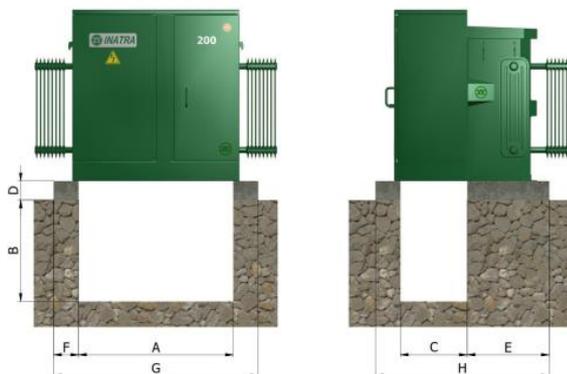
TUT-3P200 → Transformador para un sistema de 13,8 kV, trifásico en pedestal de 200 kVA.

❖ **Configuración Tipo Malla del Transformador**

Esta configuración posibilita el cierre del alimentador primario para formar un anillo, y el transformador está equipado con dos terminales de media tensión por fase. Además, tiene un seccionador de 4 posiciones diseñado para operar con medio voltaje. Esta disposición asegura una mayor flexibilidad y confiabilidad en el suministro eléctrico, permitiendo la conexión y desconexión de manera segura en las operaciones de la red de media tensión.

Figura 23.

Medidas del pozo bajo el transformador tipo pedestal.



Nota. Adaptado de dimensiones de bases para transformadores trifásicos Pad Mounted, INATRA, 2023, (INATRA, 2023).

La Figura 23 muestra las dimensiones de los pozos debajo del transformador, es aquí donde se albergarán los conductores para luego subir hacia los puntos de conexión en MV, mientras que las medidas se especifican en la Tabla 10.

Tabla 10.

Medidas del pozo bajo el transformador tipo Pad Mounted.

TRANSFORMADOR PADMOUNTED TRIFÁSICO - MALLA												
CLASE 15/25 KV												
POTENCIA	LONGITUD CORTE	ALTURA CORTE	ANCHO CORTE	ALTURA CONCRETO	ANCHO CONCRETO			LONGITUD CONCRETO	LONGITUD TOTAL CR	ANCHO TOTAL CONCRETO		
					S/SW	SWP	SWAP			S/SW	SWP	SWAP
[KVA]	[mm] - [A]	[mm] - [B]	[mm] - [C]	[mm] - [D]	[mm] - [E]			[mm] - [F]	[mm] - [G]	[mm] - [H]		
30	1240	800	535	150	508	608	648	200	1640	1243	1343	1383
50	1240	800	535	150	558	608	648	200	1640	1293	1343	1383
75	1240	800	535	150	558	608	648	200	1640	1293	1343	1383
100	1240	800	535	150	558	608	648	200	1640	1293	1343	1383
125	1240	800	535	150	608	608	648	200	1640	1343	1343	1383
150	1240	800	535	150	619	689	679	200	1640	1354	1424	1414
200	1240	800	535	150	608	608	658	200	1640	1343	1343	1393
250	1240	800	535	150	649	609	719	200	1640	1384	1344	1454
300	1240	800	535	150	739	739	759	200	1640	1474	1474	1494
400	1240	800	535	150	659	739	739	200	1640	1394	1474	1474
500	1240	800	535	150	739	759	799	200	1640	1474	1494	1534

Nota. Adaptado de dimensiones de bases para transformadores trifásicos Pad Mounted, INATRA, 2023, (INATRA, 2023).

Las partes que poseen este tipo de transformadores Pad Mounted, se visualizan en los Anexos H y I ubicados al final del texto.

2.5.6. Selección del Conductor Para Medio Voltaje

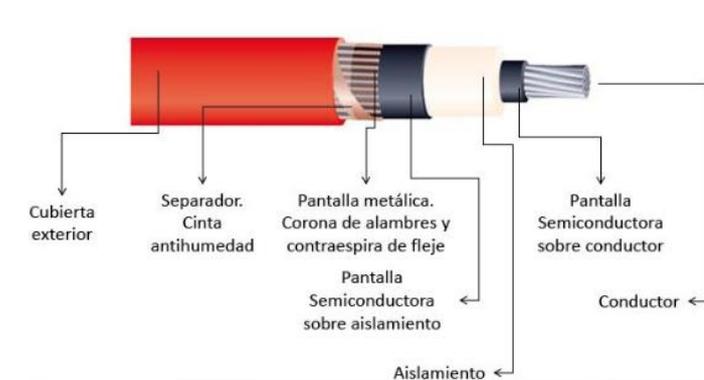
Para la selección del conductor se utiliza el simulador ArcGIS junto con la base de datos proporcionada por la Empresa Regional Norte EMELNORTE. Se ha optado por el

conductor de aluminio 1/0 AWG para la derivación secundaria, que según el catálogo de Electrocables recibe el nombre de "RAVEN". Este conductor de aluminio 1/0 AWG se caracteriza por tener una capacidad de corriente de 242 A, como se detalla en el Anexo K. Esta elección se basa en una evaluación cuidadosa de las necesidades y condiciones específicas del proyecto.

Para el diseño se escogerá su similar en cobre que alimentará al centro de transformación de la electrolinera. Entonces se buscará en la tabla del catálogo de conductores de cobre de la empresa Electrocables (ver Anexo L) un similar que soporte la misma corriente o mayor al del conductor 1/0 AWG, seleccionando así el conductor 2/0 AWG en cobre tipo TRXLPE con una capacidad de corriente hasta de 230 A para ductos bajo tierra. El conductor TRXLPE es un cable compactado para medio voltaje, posee un apantallamiento con hilos de cobre con enchaquetado PVC, resistente a la humedad (ELECTROCABLES, 2022).

Figura 24.

Partes del conductor TRXLPE mencionadas en el Catálogo Digital UC y UP.



Nota. Adaptado del Catálogo Digital Manual de Construcción de redes Subterráneas, del Ministerio de Energía y Minas, 2022, (MEER, 2022).

La selección del conductor se hace bajo normas CPE INEN 19:2001, la Figura 24 establece las partes que posee estos conductores.

2.5.6.1. Caídas de Voltaje.

El cálculo de las pérdidas de tensión en la red de media tensión se realiza mediante las ecuaciones propuestas en la sección 2.4.2, considerando los parámetros esenciales requeridos para la aplicación de dichas ecuaciones.

Cálculo de sección por cortocircuito. Usando los valores de la Tabla (11) para un conductor XLPE con una sección menor a 300 la duración de tiempo para cortocircuito es de 0.3 s, con este valor reemplazamos en la Ecuación (3) y se obtiene valor de $I_{cc} = 9,065 \text{ kA}$.

Tabla 11.

Densidad de corriente de cortocircuito para conductores de cobre.

Tipo de aislamiento	Duración del cortocircuito, en segundos								
	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
XLPE y EPR	449	318	259	201	142	116	100	90	82
PVC									
Sección ≤ 300 mm^2	364	257	210	163	115	94	81	73	66
Sección > 300 mm^2	322	228	186	144	102	83	72	64	59

Resistencia de la línea. El Anexo D presenta la tabla de la resistencia de conductores eléctricos a diferentes temperaturas en material de cobre, llamado resistencia de línea; el cual posee un valor de 0,707 a 90°C, mientras que la longitud del conductor desde el poste hasta el transformador es de 30 metros que es equivalente a $L_{linea} = 0,030 \text{ Km}$.

Al sustituir los valores de la resistencia de la línea y la longitud en la Ecuación (4) se obtiene un valor de: $R_{Tot_Linea} = 0,02121$

Reactancia de la línea. En la Tabla del Anexo D muestra la reactancia de los conductores por sección, para el caso de estudio y por el número de conductor es 2/0 siendo la reactancia inductiva en Ω/km tubo PVC o Conduit de aluminio de: 0,138

Mediante la Ecuación (5) se calcula la reactancia de la línea obteniendo un valor de $X_{T-L} = 4,44 \times 10^{-3}$

Caída de voltaje. Con los valores del coseno y seno con el valor de 0,98 proveniente del factor de potencia. Se obtiene valores de $x = 0,98$ $y = 0,1988$; al aplicar estos valores de la longitud del conductor, corriente nominal, reactancia, valores de seno y coseno en la Ecuación (6) se obtiene:

$$\Delta U = 0,3137$$

Caída de voltaje porcentual. La caída de voltaje no debe pasar el 5% según lo establecido en las normativas del INEN CPE 19:2001, al reemplazar los valores de potencia activa del transformador y longitud, entre voltaje de la red MV por el coseno del ángulo, se

multiplica para el valor de resistencia y reactancia por valores de resistencia y reactancia respectivamente en la Ecuación (7) se puede determinar que en valor es menor al 5% establecido por las normativas.

$$\Delta U\% = 2,27 \times 10^{-3}$$

2.5.7. Selección del Conductor para Bajo Voltaje

El conductor que se empleará para la red secundaria que parte del centro de transformación hacia la caja de revisión se realizara con un conductor 3/0 AWG de cobre debido a la carga que este punto manejará teniendo este conductor un soporte de 260 A; para luego, según las especificaciones del fabricante de la electrolinera Raption50, loa cargadores requieren 4 conductores para operar: 3 fases, 1 neutro y 1 conductor de protección (PE). La corriente de consumo por electrolinera es de 76 A, lo cual influye en la elección del conductor adecuado para garantizar un suministro eléctrico seguro y eficiente.

El conductor seleccionado para la alimentación de las electrolineras es el 4 AWG PE TTU de cobre. Este conductor se caracteriza por estar aislado con polietileno y tener un revestimiento de policloruro de vinilo resistente a la humedad. La elección de este conductor se basa en su capacidad para soportar corrientes de hasta 85 A, lo cual es adecuado para las demandas de alimentación de las electrolineras. Además, su revestimiento resistente lo hace idóneo para su uso en condiciones subterráneas, garantizando un rendimiento confiable en un entorno que puede ser desafiante.

2.5.7.1. Caída de Voltaje en Red Bajo Voltaje

El cálculo de la caída de voltaje en el lado secundario del transformador se hará con el formato proporcionado por EMELNORTE, que incorpora aspectos a considerar. En este formato, se incluye el nombre del proyecto con una instalación de tipo subterráneo, se establece el tipo de usuario en el estrato C, se especifica un voltaje de 400 V en configuración trifásica, se emplea un conductor del tipo TTU y se trabaja con una red trifásica. Este modelo de cálculo de caída de voltaje establece un límite máximo admisible de 3%, lo que asegura que la caída de voltaje se mantenga dentro de rangos aceptables.

Figura 25.

Tabla de resumen para caídas de voltaje (base de datos EMELNORTE).

EmelNorte				COMPUTO DE CAIDAS DE VOLTAJE CIRCUITOS SECUNDARIOS REDES CONVENCIONALES							
NOMBRE DEL PROYECTO:		ELECTRIFICACION "Diseño del sistema eléctrico para el suministro energético de una electroinera en la Ciudad de Ibarra"		Fecha	17-jul-23	HOJA:	HOJA 1				
TIPO DE INSTALACIÓN:		SUBTERRANEA	VOLTAJE:	400	Tipo de Usuario	C	CENTRO DE TRANSFORMACION No. CT1- 200KVA				
CONDUCTOR: Preens. "P"; Descn. "D":		TTU	No. FASES:	3	LIMITE DE CAIDA DE VOLTAJE:	3%					
					Elegir tipo de Red	Trifásico					
DATOS			Carga/usuario		CIRCUITO		CONDUCTOR		COMPUTO		
TRAMO		Nro.			FASE	CALIBRE	FDV	CAIDA VOLTAJE (%)			
DESIG.	L(m)	CONSUM.	kVA/tramo	kVA/tramo	Conf. de red	AWG	kVA-m	kVA-m	PARCIAL	ACUMULADO	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0-1	10	0	15,40	0,000	Trifásico	# 4	510	154,0102439	0,31	0,31	
0-2	10	0	31,14	0,000	Trifásico	# 4	510	311,3685366	0,62	0,62	
0.3	10	0	20,42	0,000	Trifásico	# 4	510	204,2309756	0,41	1,03	

Se muestra un gráfico de la red que se deriva del transformador, donde se tienen tres cargas, y se proyecta una distancia de 10 metros hasta llegar a los cargadores, tal como se ilustra en la Figura 25. En esta configuración, se ha seleccionado el conductor 4 AWG, y la tabla de cálculo evalúa la caída de voltaje.

En el cálculo acumulado final, se observa que la caída de voltaje alcanza un 1,03 %, que está dentro de los límites establecidos por la normativa aplicable.

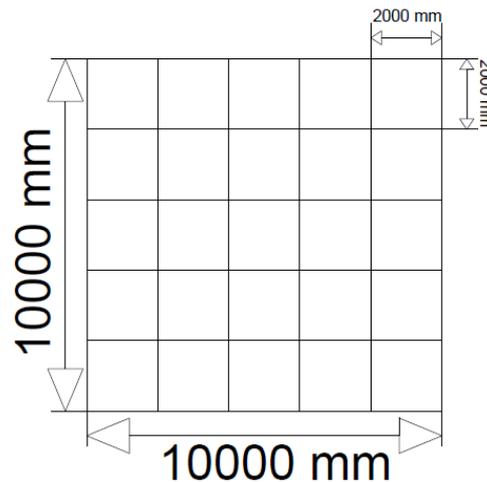
2.5.8. Mallado a Tierra

Uno de los puntos más importantes de toda instalación eléctrica es el mallado a tierra, para disminuir o desvanecer el riesgo de una avería en el equipo utilizado, limitar el voltaje de masa respecto a tierra, proteger la salud de personas y equipos.

A continuación, se detallan los aspectos considerados para el diseño de la malla a tierra para la estación de carga, como se observa en la Figura 26, la distancia entre las 4 varillas es de 10000 mm, cada una de 1500 mm de largo y un diámetro de 0,016 mm.

Figura 26.

Diseño y medidas de la malla de puesta a tierra.



Nota. Se establece un modelo de malla a tierra, dimensionando un cuadrado de 1000 mm x 1000 mm, las puestas de las picas se realizarán cada dos metros por ello el diseño de cuadrados pequeños para simular los puntos de ubicación de las picas.

Según la normativa IEEE, donde se estandarizan las resistencias máximas de puesta a tierra, menciona que el mallado debe cumplir un rango específico, el cual es de 25Ω .

Tabla de resistencia del terreno. Se usará el método Wenner, las picas deberán ubicarse a distancias diferentes (1, 2, 3, 4, 5) metros, de esta manera se obtienen datos del terreno en base a la normativa IEEE std80-2000.

Tabla 12.

Datos obtenidos mediante el método Wenner usando base de datos de FS Ingeniería.

Distancia (m)	Resistencia (Ω)	Resistividad ($\Omega \cdot m$)
Medición a 0°		
1	3,835634	24,1
2	1,3575916	17,06
3	0,69869	13,17
4	0,5916585	14,87
5	0,4736451	14,88
Medición a 90°		

1	2,487591	15,63
2	1,36714	17,18
3	0,745375	14,05
4	0,5351584	13,45
5	0,4144394	13,02

Nota. Adaptado de la página web de sistemas de puesta a tierra, de FSINGENIERÍA 2020, (FSingeniería, 2020).

En la Tabla 12, se detallan las mediciones de distancia, resistencia y resistividad del terreno, las cuales se llevaron a cabo a diferentes distancias utilizando dos ángulos: el primero a 0° y el segundo a 90°. Estas mediciones se basan en el modelo de método Wenner, según la referencia de (FSingeniería, 2020).

Tabla 13.

Promedio de las mediciones realizadas por método Wenner.

	Promedios	
1	3,1616125	19,865
2	1,3623658	17,12
3	0,7220325	13,61
4	0,5634085	14,16
5	0,4440423	13,95

Nota. Promedios usando en programa Excel para facilitar el proceso.

Este enfoque proporciona datos fundamentales para comprender la variabilidad de la resistividad del terreno a lo largo de las distancias consideradas.

Utilizando el método uniforme, se ha calculado la resistividad equivalente considerando la distancia de cada medición. Este proceso se llevó a cabo mediante una tabla de Excel, como se muestra en la Tabla 13. El cálculo se basa en la obtención de un promedio entre las mediciones tomadas en varios ángulos, lo que proporciona un valor representativo de la resistividad a lo largo de la distancia considerada.

Con la suma de estos valores promediados se divide para el número de valores obtenidos reemplazando en la Ecuación (11) se obtiene un resultado de: $\rho = 15,741$

Área del mallado a tierra. Para el cálculo del área, se considerarán las distancias entre las picas, tal como se muestra en la Figura 27. Por lo tanto, las longitudes de referencia son las siguientes:

$$\text{Largo} = 1000 \text{ mm}$$

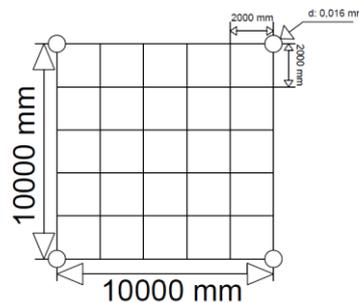
$$\text{Ancho} = 1000 \text{ mm}$$

Se obtiene un resultado del área de:

$$\text{Área} = 100$$

Figura 27.

Dimensión de la malla a tierra incluido el diámetro de la varilla de cobre.



Nota. Se ubicarán las varillas en cada extremo del cuadrado, estas varillas tienen un diámetro de 0,016 mm.

Se diseñará un cuadrado de 1000x1000 mm, como se observa en la Figura 27, ubicando 4 picas en cada extremo del cuadrado.

Por lo que multiplicando entre longitud de un lado de la malla por 4 se obtiene una longitud total del conductor: $L_{tot} = 4000$

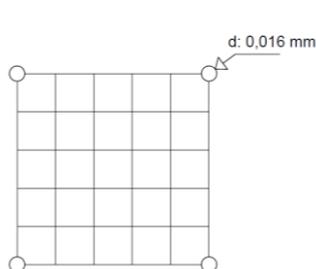
Resistencias del mallado a tierra. Para el cálculo de la resistencia del mallado a tierra, se aplicará los valores correspondientes en las Ecuaciones (13) y (14)

Reemplazando los datos de la longitud del conductor, en la Ecuación 13 los cuales son: radio de la malla, profundidad de enterramiento del conductor, resistividad promedio, resistencia de la varilla, longitud de la varilla y diámetro de la varilla obtenemos: $R_{malla} = 1,0046$

La varilla debe cumplir las normativas IEEE Std 80-2000, que, al reemplazar los datos de resistencia de la varilla, número de varillas y resistencia de malla en la Ecuación (14) se obtiene: $R_{varilla} = 11,053$

Figura 28.

Puntos de ubicación de varillas de puesta a tierra en los extremos de la malla.



Nota. El diseño final del mallado a tierra contempla 4 varillas de 1500 mm.

Con los valores calculados podemos determinar que según la Normativa IEEE el valor máximo de la resistencia de puesta a tierra debe ser inferior a 25Ω . así se observa en la Figura 28, la implantación final de las varillas en los extremos del cuadrado. Finalmente se determina que la resistencia total calculada es menor a lo estandarizado.

2.5.9. Equipos de Protección

Los equipos de protecciones son parte esencial de un sistema eléctrico, para el caso de la estación de carga se escoge una protección según la corriente máxima. El interruptor principal da la protección eléctrica de entrada, para ello se hará un bloque de distribución de BV, en el que pueden ubicarse interruptores automáticos.

2.5.9.1. Interruptor Principal.

El interruptor principal se diseñará en base a la corriente de entrada de las electrolineras, por lo cual se propone un interruptor automático de 3 polos, con una corriente nominal de 80 A y un voltaje de 400 V (Schneider, 2023).

Tabla 14.

Protecciones para los 3 cargadores de la estación de carga.

CIRCUITO	IN	INTERRUPTOR
PRr_VE 1	80 A	Magnetotérmico
PRr_VE 2	80 A	Magnetotérmico
PRr_VE 3	80 A	Magnetotérmico

Nota. Cada punto de recarga rápida (PRr), posee un interruptor magnetotérmico de 80 A.

La protección para cada cargador deberá ser con interruptores capaces de actuar de manera inmediata en el caso de averías o sobrecorrientes. La Tabla 14 establece las medidas de protección para cada cargador, y en la columna "CIRCUITO" se asigna una designación específica a cada cargador (PRr_VE N). El propósito de estos circuitos es proteger cada cargador con capacidad nominal de 80 A. Estos circuitos están protegidos con interruptores magnetotérmicos con capacidad nominal de 80 A.

El propósito de estos circuitos es proteger cada cargador con capacidad nominal de 80 A. Estos circuitos están protegidos con interruptores magnetotérmicos con capacidad nominal de 80 A. El propósito principal es proteger eficazmente cada cargador, para evitar daños en los cargadores y en el sistema en su conjunto.

2.5.9.2. Protecciones de los Cargadores (electrolineras).

Las estaciones de carga de vehículos eléctricos, conocidas como electrolineras, incorporan de fábrica sistemas de protección. La primera capa de seguridad es proporcionada por un interruptor automático de protección contra sobrecargas (MCB), mientras que la segunda se basa en un interruptor de corriente diferencial residual (RCD) de 30 mA, caracterizado como Tipo A, que ofrece protección adicional contra fugas de corriente eléctrica.

2.5.10. Seccionamiento y Protección Red de Medio Voltaje

Para seccionar y proteger adecuadamente a la estación de carga de vehículos eléctricos (VE), se recurre a una simulación basada en la base de datos de EMELNORTE, una empresa de distribución eléctrica en la región norte. Esta simulación identifica y presenta dos tipos de fusibles, los cuales se describen a continuación.

2.5.10.1. Fusible Tipo "T".

El fusible tipo "T" se utiliza como dispositivo de protección en sistemas de distribución eléctrica, particularmente en la protección de transformadores. Este tipo de fusible está diseñado para salvaguardar los equipos contra sobrecargas y corrientes de alta intensidad. Su curva característica tipo "T" se ajusta a las normativas establecidas por organismos como la ABNT, ANSI y la IEC.

En el contexto de la simulación con la base de datos de EMELNORTE, se ha seleccionado un fusible de tipo 40T, el cual se conectará en la derivación de la red secundaria del alimentador Ajaví 1. Esta elección está destinada a asegurar una coordinación efectiva con las protecciones situadas en el lado primario del transformador. Es importante destacar que este fusible puede estar equipado con una cabeza fija o removible, un tubo de protección de papel Kraft o revestido con fibra de vidrio, y ofrece una alta resistencia mecánica.

2.5.10.2. Fusible Tipo Bayoneta.

Este tipo de fusibles son usados en su mayoría en transformadores tipo pedestal, dentro de un portafusible para la protección de fallas en el secundario, corrientes de sobrecarga y temperaturas en el aceite del transformador, para el diseño se escogerá un fusible de 20SF. El fusible de tipo bayoneta dual se presenta como una solución idónea para lograr una coordinación efectiva entre fusibles, incorporando un fusible limitador de corriente. En situaciones de fallos en la parte secundaria del sistema, el fusible dual desempeña un papel de protección. Por otro lado, las corrientes de falla se gestionan y desconectan de manera eficiente mediante el fusible limitador de corriente de tipo "40T".

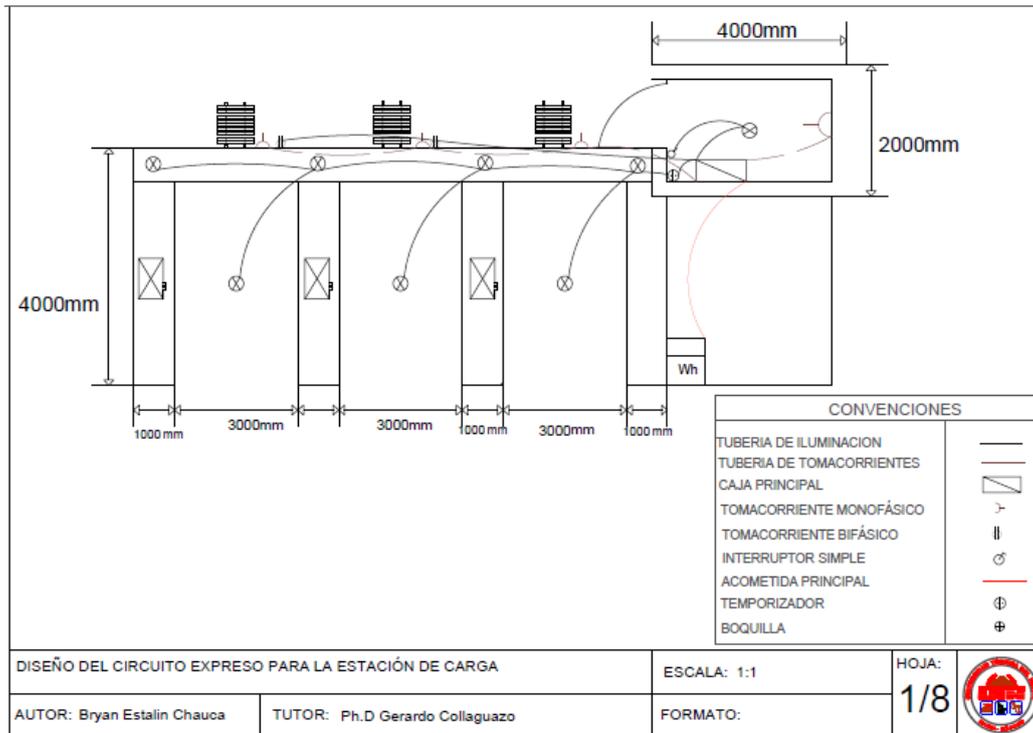
En resumen, es imperativo que estos fusibles de protección se coordinen de manera directa con los ya instalados en la red eléctrica. Esto garantiza que puedan actuar sincronizadamente en caso de fallas o averías que surjan dentro de la estación de carga. La coordinación se extiende tanto al fusible tipo T como al que está presente en el transformador Pad Mounted. De esta manera, se asegura que, en caso de fallos en el lado secundario, el fusible tipo bayoneta sea el que entre en acción, mientras que, en caso de averías en el transformador, el fusible tipo T tome la responsabilidad de la protección adecuada. Este nivel de coordinación es fundamental para garantizar la seguridad y confiabilidad del suministro eléctrico en la estación de carga.

2.5.11. Diseño de circuito expreso

La figura 29 muestra distintos aspectos eléctricos en el diseño del circuito expreso, las convenciones de esta están de acuerdo con las normativas de construcción del NEC. Apartado de diseño de las instalaciones eléctricas de bajo voltaje específicamente en el documento de instalaciones eléctricas.

Figura 29.

Diseño del circuito expreso para obra civil.



Este aspecto es crucial en el diseño eléctrico, ya que garantiza un entorno agradable para los usuarios durante la espera de la carga del vehículo eléctrico. La posibilidad de cargar dispositivos electrónicos, junto con una iluminación adecuada, contribuye significativamente a mejorar la experiencia del usuario (NEC, 2018).

2.5.11.1. Acometida principal

La acometida de alimentación hasta el punto de medición se llevará a cabo utilizando un conductor multipolar tipo SE (Service Entrance), con un estilo en forma de U (Ver Anexo M) la sección del conductor es número 6 AWG que puede soportar una corriente de hasta 60 A. Este conductor puede ser colocado en un ducto subterráneo del tipo manguera de 1 pulgada (ELECTROCABLES, 2022). El conductor tiene un diámetro de 11,41 mm, mientras que la manguera presenta un diámetro de 25,40 mm. Los materiales clave para la instalación de la acometida incluyen:

- Cable Tríplex de Al, ASC, neutro desnudo, cableado 600 V, PE, 3 x 6 AWG, 7 hilos

- Abrazadera de acero galvanizado, pletina, 2 pernos, doble ojal espiralado, 38 x 4 x 160 mm
- Pinza termoplástica, para acometida
- Conector de aleación de Al, compresión tipo "H"

La acometida será responsable de suministrar energía al circuito expreso de la estación de carga (MEER, 2022). Desde el medidor, se extenderá otra acometida a través de una manguera de 3/4" o 25 mm de diámetro hasta la caja de protección y distribución. En este punto, se distribuirán las cargas para los circuitos de tomacorrientes e iluminación.

2.5.11.2. Circuito de iluminación.

El circuito de iluminación se ramifica desde la caja de distribución, la cual recibe alimentación directa desde el medidor. Para garantizar la seguridad del sistema, se incorporará un interruptor termomagnético de 20 A (Ver Anexo N) que actuará en caso de fallos o averías. Para evitar problemas en el encendido y apagado de las luminarias, se implementará un temporizador en una caja separada (NEC, 2018). Este dispositivo permitirá activar las luminarias automáticamente en condiciones de oscuridad, evitando inconvenientes en el encendido y apagado de las mismas. El conductor para este circuito se realizará con un cable de cobre número 12 AWG que soporta una corriente de hasta 20 A.

2.5.11.3. Circuito de tomacorrientes.

Este circuito, derivado de la caja de distribución conforme a la norma IEC 60884-1, se segmenta en dos partes distintas. Una de ellas corresponde a un tomacorriente monofásico con tres líneas: fase, neutro y PE. La otra parte se refiere a un tomacorriente bifásico que incluye cuatro líneas: dos fases, un neutro y PE. Para el circuito monofásico, se instalará un interruptor monopolar termomagnético de 32 A, mientras que para el circuito bifásico se empleará un interruptor bipolar de 30 A (NEC, 2018). Si estos interruptores no son suficientes para abastecer la corriente de desconexión requerida, se sustituirán por otros con valores más elevados. Asimismo, se utilizará un conductor de calibre 12 AWG para el circuito monofásico y uno de calibre 10 AWG este soporta una corriente de hasta 30 A (Ver Anexo N) para el circuito bifásico.

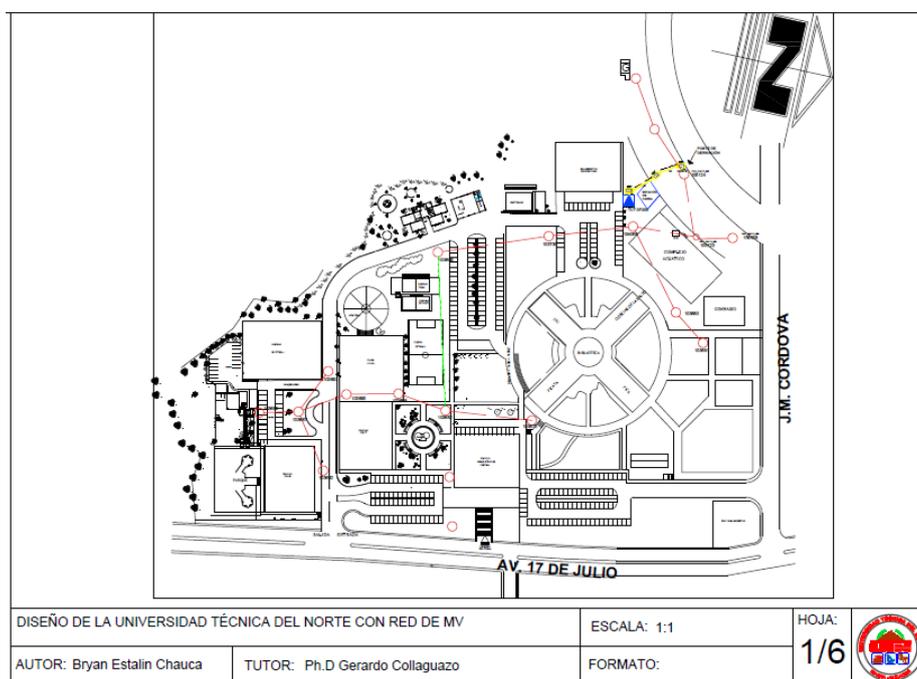
2.5.11. Diseño Eléctrico AutoCAD

El apartado 2.5 muestra los resultados para el diseño de la estación de carga de vehículos eléctricos, describiendo aspectos que se seleccionarán para el diseño de este,

donde se establece el dimensionamiento del transformador, conductores, protecciones, obra civil, entre otros. Para los cargadores modo 4 se usa la norma IEC 61851-23, ya que ésta es la norma que contiene los requisitos generales para el cargador del vehículo eléctrico en DC. Mientras que el voltaje nominal se considera 400 V, para cargadores de origen europeo y norteamericano. El vehículo eléctrico debe tener el cargador y el convertidor AC/DC, lo que permite carga rápida y carga lenta, alimentación en AC y alimentación en DC.

Figura 30.

Plano arquitectónico de la Universidad Técnica del Norte.



Nota. Se usa el programa AutoCAD para diseñar el plano de UTN, para visualizar diferentes áreas, redes de MV, BV, entre otras.

❖ **Membretado del centro de la estación de carga**

Cargador para vehículo eléctrico alimentado trifásicamente a 400 VAC, con una salida en modo de carga 4, con potencia máxima de salida de 51.94 kW → CEU-3D51.94

Según la Figura 30, se ha generado un plano detallado de la UTN (Universidad Técnica Nacional) en AutoCAD, donde se han identificado y trazado las redes de bajo voltaje y las de medio voltaje y los ductos soterrados de la UTN.

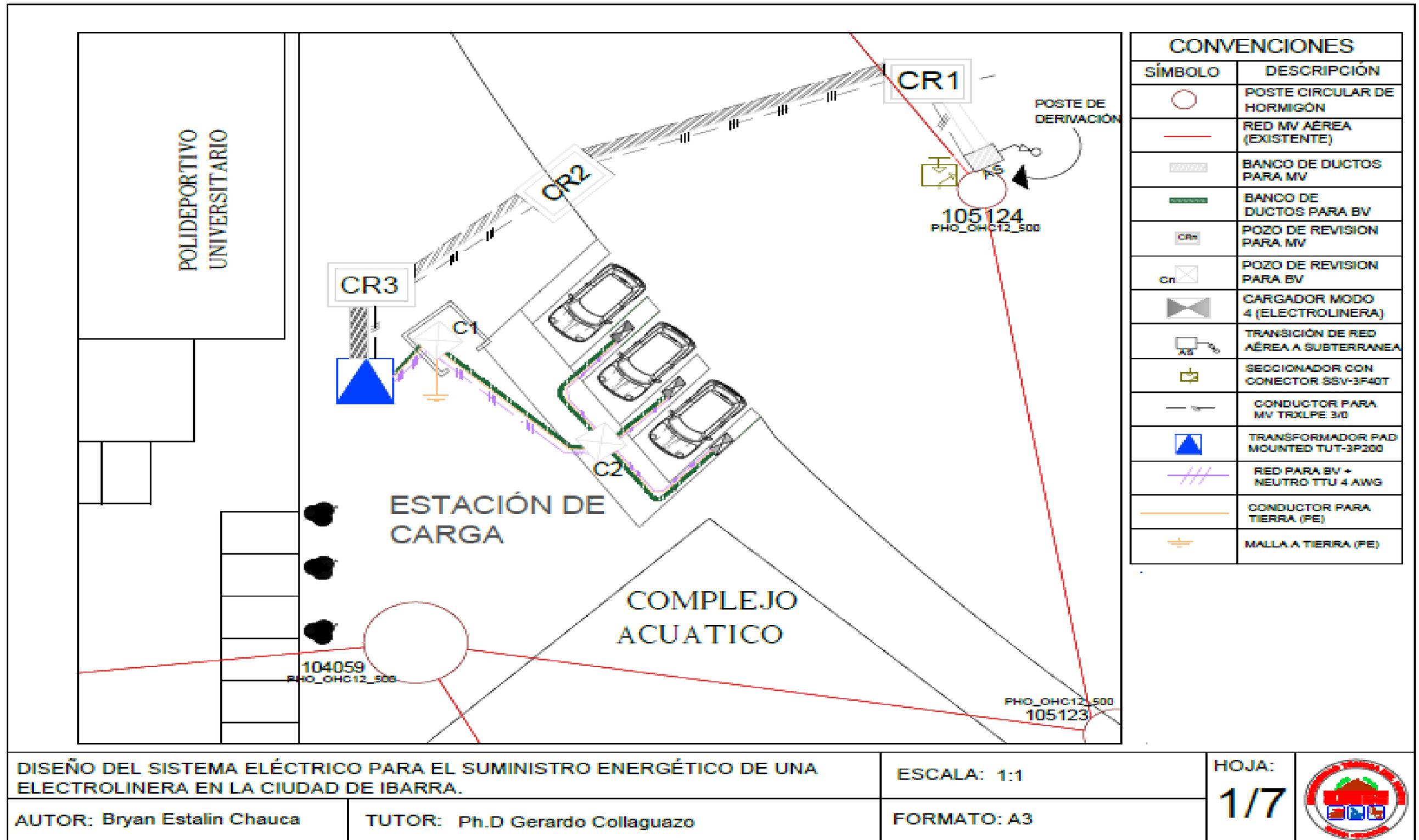
La Figura 31 muestra el diseño completo del sistema eléctrico de la estación de carga realizado en el programa AutoCAD, se diseñan elementos y aspectos considerados en fases posteriores del proyecto.

El punto de conexión se inicia en el poste de hormigón circular de 12 metros, identificado con el número 105124, que alberga una red trifásica de 13,8 kV. Este poste sirve como punto de partida para el diseño, desde donde se deriva la alimentación de medio voltaje (MV) para la estación de carga mediante una estructura centrada de retención. Se implementa un cambio de red de aérea a subterránea, protegiendo la red de MV con un fusible tipo "40 T", coordinado con el fusible de protección del transformador tipo pedestal Pad Mounted tipo "20 SF". La transición de la red aérea a subterránea se realiza utilizando materiales especificados en el Catálogo Digital del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. Mientras que el conductor seleccionado para la red de medio voltaje es un número 2/0 AWG tipo TRXLPE, con una capacidad de corriente de hasta 230 A.

Se presenta un diseño de obra civil que incorpora pozos principales tipo B para media tensión, con dimensiones de 900x900x900 mm, seleccionados del Catálogo Digital del MEER. Estos pozos están interconectados hasta llegar al centro de transformación, equipado con un transformador de 200 kVA. La elección del transformador se basa en la suma de las potencias aparentes totales de cada cargador. Se elige un transformador tipo Pad Mounted, específicamente diseñado para operar en condiciones atmosféricas adversas. Su instalación se realiza en un área elevada, distante de potenciales inundaciones, sobre una sólida base de hormigón. Además, se conecta directamente a una malla a tierra diseñada para brindar protección adicional a equipos y materiales. Desde las salidas del transformador en el lado secundario, se extienden los conductores hacia la caja principal de distribución, encargada de alimentar los cargadores en modo 4. Cabe destacar que cada cargador está equipado con su propia protección o interruptor principal, proporcionando protección contra sobrecorrientes y posibles fallas.

Los conductores elegidos para los cargadores tienen un calibre de 4 AWG, lo que les permite manejar corrientes de hasta 76 A. Se establece la cantidad de conductores en 3 fases, 1 neutro y una protección eléctrica, los cuales se conectan directamente a los cargadores, marcando la conclusión del diseño eléctrico de la estación de carga.

Figura 31. Diseño eléctrico propuesto para la estación de recarga en los espacios previamente seleccionados de la Universidad Técnica del Norte.



Capítulo 3

Efecto de la Integración de la Electrolinera a la Red de Distribución.

Hoy en día la movilidad eléctrica es uno de los temas más destacados en el sector automotriz y eléctrico. Su creciente popularidad ha llevado a que los vehículos eléctricos (VE) sean comparables en términos de uso y desempeño con los vehículos de combustión. Existe un complejo estudio eléctrico y electrónico, que se requiere para recargar estos vehículos en el modo de carga 3 y 4. Es fundamental considerar los efectos y desafíos asociados con la integración de estaciones de carga rápida de vehículos eléctricos a la red de medio voltaje en el caso de estudio para la red de EMELNORTE. Este análisis abarca una amplia gama de factores, incluidos los aspectos eléctricos relacionados con la capacidad y la estabilidad de la red, así como los aspectos electrónicos que involucran la interacción y el control entre la estación de carga y el vehículo eléctrico.

Es esencial realizar un enfoque exhaustivo y detallado para garantizar que la infraestructura de carga se implemente adecuadamente y que la red eléctrica pueda acomodar la demanda de energía del transformador de la estación de carga de manera eficiente y segura.

3.1. Red EmelNorte

La Empresa Eléctrica Regional Norte EMELNORTE ofrece sus servicios a una amplia base de clientes, con más de 241,045 abonados distribuidos en una extensión de 11,862.1 km². Su cobertura incluye las provincias de Imbabura, Carchi y el norte de Pichincha, así como las zonas orientales de Sucumbíos y sectores específicos como Alto Tambo y Durango en la provincia de Esmeraldas (EMELNORTE, 2023). Para el caso de estudio de la estación de carga, se ha seleccionado la subestación Ajaví, juntamente con el alimentador Ajaví1, ubicada en la ciudad de Ibarra. Estos puntos son de especial interés para el análisis, ya que permiten examinar de cerca la integración de la estación de carga y evaluar su impacto en la red eléctrica de EMELNORTE.

3.2.1. Alimentador Ajaví 1

La subestación Ajaví, estratégicamente ubicada en la Av. Víctor Manuel Guzmán y 13 de abril, es un importante centro de distribución de energía eléctrica que cuenta con 4 alimentadores. Cada alimentador dota de energía a distintas zonas de Ibarra. Para el caso

de estudio, se trabajará con el alimentador 1, llamado por su nombre técnico como ALIM-AJAVI 1, esto dado la ubicación geográfica de la UTN (EMELNORTE, 2023).

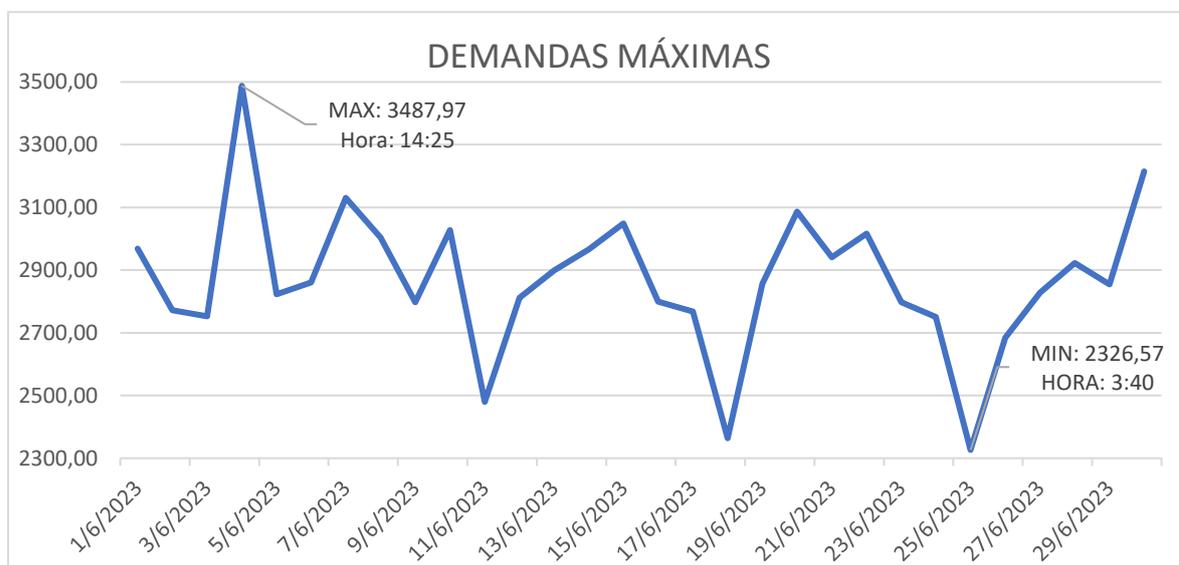
Este alimentador abastece de energía a la zona noreste de la ciudad, donde está ubicada la Universidad Técnica del Norte. Al considerar el alimentador ALIM-AJAVI 1 en la investigación, se puede evaluar de manera precisa y detallada cómo la integración de la estación de carga para vehículos eléctricos puede impactar en esta área en particular. Además, el enfoque permitirá analizar cómo la estación de carga afecta o no el suministro eléctrico y la calidad de energía en la Universidad y su entorno.

3.2. Estado Actual del ALIM.AJAVI 1

La red del alimentador Ajaví 1 está compuesta por diversos puntos de transformación y distribución que se extienden desde la subestación hasta alcanzar el último punto de conexión. Estos comportamientos se ven reflejados en las lecturas generales del alimentador, especialmente en la demanda máxima registrada. La demanda máxima corresponde al pico más alto de energía eléctrica consumida en un intervalo de tiempo (CNEL EP, 2020).

Figura 32.

Gráfica de demanda del alimentador Ajaví 1.



Nota. La figura muestra el comportamiento de la energía del alimentador Ajaví 1 a diferentes tiempos, la demanda crece o decrece.

Es crucial destacar que los comportamientos en la red nunca seguirán patrones lineales ni se igualarán a otras lecturas. Esto se debe a las variadas pautas de comportamiento de los usuarios al consumir energía en sus hogares, sin olvidar la influencia

de los patrones de uso energético en horas laborables e industriales que pueden impactar la red de medio voltaje.

La Figura 32 ilustra que la demanda máxima alcanza alrededor de los 3500 kVA. Sin embargo, al analizar los datos extraídos de la base de datos de EMELNORTE y considerando la demanda máxima diaria a lo largo del mes, se observa que el pico máximo es de 3487.97 kVA, este pico se registra aproximadamente a las 14:25 PM el día 4 de junio, con mediciones realizadas cada 5 minutos. Por otro lado, el pico más bajo de las demandas máximas se presenta a las 3:40 AM el día 25 de junio, con un valor de 2326.57 kVA.

Con la ayuda del programa CYMDIST, se realizarán las simulaciones correspondientes para visualizar el estado actual de la red, por lo que se procederá a ingresar los valores en demanda máxima del alimentador Ajaví 1.

Tabla 15.

Medición Base EMELNORTE del alimentador Ajaví 1.

Local Time	kVA tot	kW tot	kVAR tot	I a	I b	I c	PF sign a	PF sign b	PF sign c
4/6/2023 14:25:00	3487,97	3254,59	1254,43	157,06	134,86	148,01	93,04	92,49	93,48

Nota. La tabla posee los valores a ser ingresados en el alimentador Ajaví 1 dentro del programa CYME, con el fin de verificar el estado de la red. Tomado de Mediciones base de datos EMELNORTE.

Los valores de la Tabla 15 señalan la demanda máxima kVA tot. Los siguientes valores como: kW tot, kVAR tot, Ia, Ib, Ic y los factores de potencia por línea, serán ingresados en el programa para analizar la distribución de carga del alimentador.

Figura 33.

Valores del alimentador a demanda máxima ingresados en el nodo principal del alimentador (SYMDIST).

Tensiones del equivalente de fuente

Nominal: kVLL Equilibrado

Servicio: A B C

Ángulo: °

Nota. Se ingresan los valores en el programa, iniciando con el voltaje nominal (13,8kV), para luego ingresar los valores en P.U, de los voltajes de línea (VII ab, VII bc, VII ca).

Dentro del recuadro de propiedades de la red, apartado de equivalentes, se ingresan estos valores como se observa en la Figura 33, tomando en cuenta el voltaje de la red en este caso 13,8 kV, finalmente se procederá a escribir los voltajes en P.U de las fases.

El cuadro de flujo de carga exhibido en la Figura 34 representa el análisis del flujo de carga realizado en el programa CYMDIST.

Figura 34.

Datos obtenidos por el Flujo de carga en nodo fuente (CYMDIST).

Cuadro de flujo de carga						
Fuente - NODOFUENTE-1300100T01						
Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0,998	13,8	8,0	146,6	3497	3251	1286

F C Cg

Nota. Se realizará el flujo de carga en el nodo fuente para verificar que las mediciones coincidan con los datos del programa.

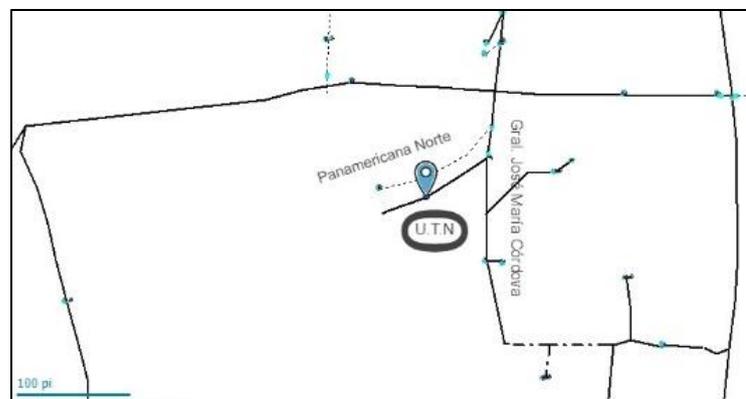
Al comparar los valores de kVA, kW y kVAR, se puede concluir que las mediciones del alimentador casi coinciden con los valores obtenidos en el flujo de carga del programa en tiempo real, cabe destacar que al ser un simulador no se obtiene datos totalmente precisos.

3.3. Inserción de la Estación de Carga al Alimentador Ajaví 1

Para agregar el centro de transformación a la red del alimentador Ajaví 1 en el programa CYMDIST, se procede mediante la creación de un nuevo Nodo en la red de medio voltaje. Se coloca un transformador de dos devanados en el nodo de origen y se ingresan los datos característicos necesarios para su configuración.

Figura 35.

Ubicación del nodo 1 en la red de MV del alimentador Ajaví 1 dentro del programa CYMDIST.



Nota. La inserción del nodo se realiza ubicándose sobre un punto de la red, al dar clic derecho se despliega una lista de comandos, se selecciona crear nodo y se ubicará en el punto especificado.

Este proceso garantizará una correcta integración del centro de transformación a la red existente, se seleccionará el punto más cercano al del diseño especificado en el apartado 2.3.2, la Figura 35 muestra el sitio seleccionado en el mapa de CYMDIST, en este punto se derivará el transformador de 200 kVA seleccionado en el diseño que posteriormente nos ayuda a visualizar cambios en la simulación del programa.

Figura 36.

Ingreso de datos del transformador dentro del programa.

Se ingresan los datos del transformador, la conexión del transformador es el Delta-Estrella con neutro aterrado se coloca el voltaje en el lado primario del transformador, y en el lado secundario como se observa en la Figura 36.

Tabla 16.

Suma de potencia del transformador de la Estación Carga al alimentador Ajaví 1.

Fecha/Hora	kVA tot	Potencia Estación Carga (kVA)	Total (kVA)
4/6/2023 14:25:00	3487,97	200	3687,97

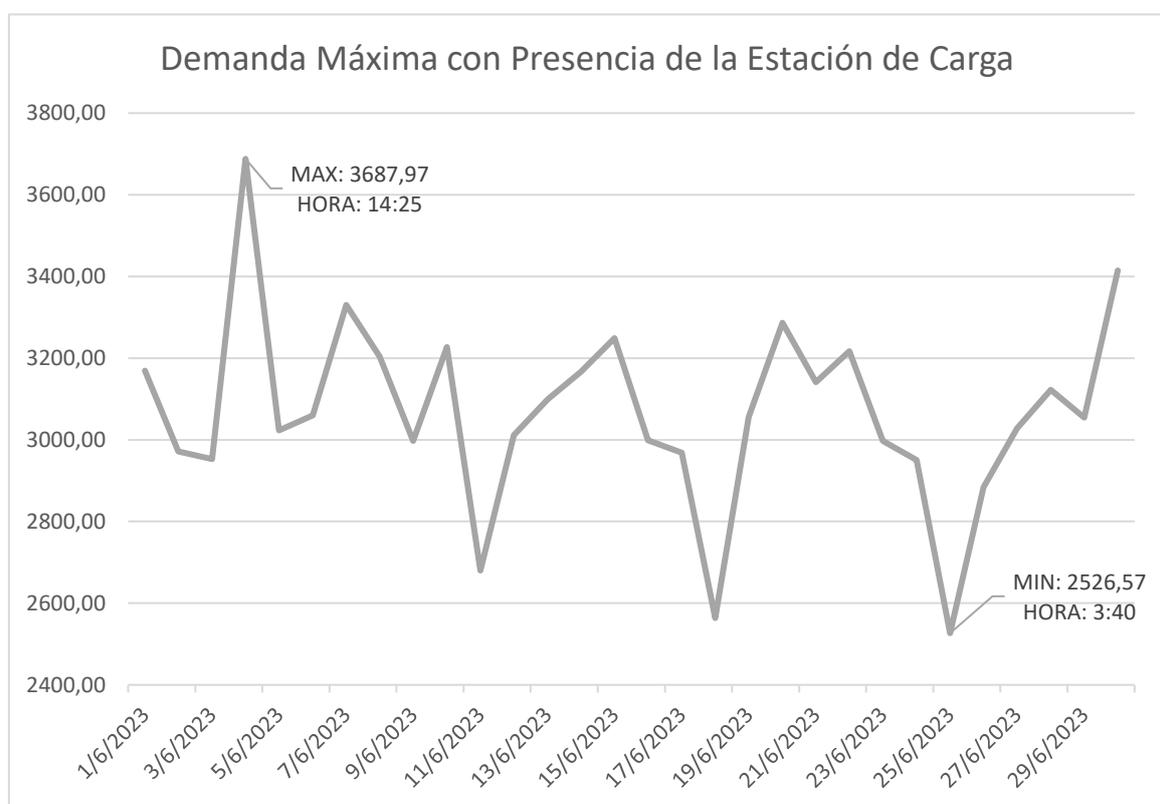
Para obtener el pico de demanda máxima en el alimentador, se procederá a sumar la potencia del transformador (200 kVA), a las demandas en kVA totales registradas en Excel.

Al realizar esta suma, se obtiene el resultado de 3687,97 tal como se muestra en la Tabla 16, este pico se presenta en el mismo horario de la demanda máxima.

Posteriormente, al agregar la potencia del transformador a las mediciones del alimentador, se genera la Figura 37 que representa el comportamiento del consumo eléctrico, muestra una visualización clara de la demanda máxima y su relación con la potencia del transformador.

Figura 37.

Gráfica con la suma de la potencia del transformador de la estación de carga a la red de MV.



Nota. Al sumar la potencia del transformador en la demanda máxima se obtiene una gráfica donde el pico se ubica en el mismo punto y no sobrepasa los límites de soporte de la red.

La demanda máxima sigue casi inalterada comparada con la Figura 32. El incremento resultante, de 200 kVA, se atribuye al nuevo transformador incorporado en la estación de carga, tal como se representa en la Figura 37.

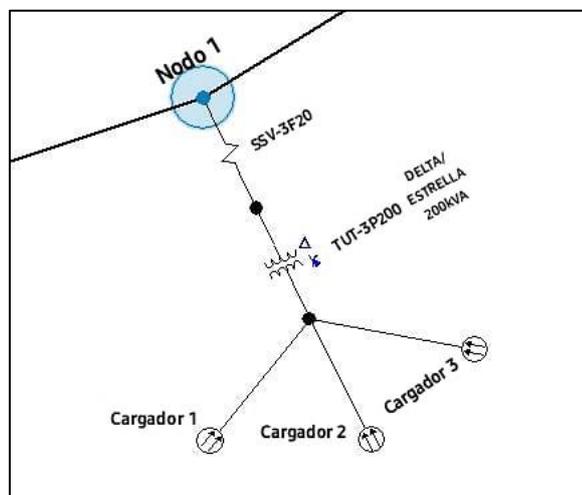
3.3.1. Flujo de Carga

La ejecución del análisis de flujo de carga implica la colocación de un nodo en un punto específico del alimentador. En este caso de estudio, se ha llevado a cabo la colocación

de nodos en las ubicaciones designadas dentro de la UTN, considerando que dentro del programa CYMDIST no existe un mapa que nos guie hacia el punto, en este caso se ubica el alimentador y los postes cercanos al seleccionado en el diseño eléctrico. Para simular el flujo de carga se incluirán cargas derivadas del Nodo 1 (Nodo de derivación en MV), como se observa en la Figura 38, el Nodo está en la red de alimentación de la UTN, posteriormente se incluirán los elementos seleccionados en el dimensionamiento eléctrico como: el fusible, el transformador y las cargas.

Figura 38.

Ubicación del Nodo 1 en el sector el Olivo alimentado por Ajaví 1.



La conexión se realiza en el Nodo 1, del cual se deriva un fusible tipo T, para luego ubicar el transformador de 200 kVA en configuración delta/estrella. Posteriormente, se colocan las cargas denominadas cargador 1, 2 y 3, simulando así las electrolineras.

3.3.2. Flujo de Carga en el Nodo Fuente

En el nodo fuente se realizará la simulación del flujo de carga, donde ya se ubicó la potencia del centro de transformación de la estación de carga.

Figura 39.

Datos obtenidos en el Flujo de carga en nodo 1.

Cuadro de flujo de carga						
Fuente - NODOFUENTE-1300100T01						
Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0,998	13,8	8,0	146,6	3497	3252	1286

La Figura 39 muestra los valores del flujo de carga, donde se nota que la potencia aparente en el alimentador no es muy relevante con respecto a las mediciones y valores de la Figura 34.

3.3.3. Flujo de Carga en el Transformador

Se ha seleccionado un transformador de 2 devanados con conexión delta/estrella, esta configuración proporciona una mejor respuesta ante las distorsiones armónicas, lo que garantiza un funcionamiento más eficiente y seguro de los cargadores eléctricos (Dong, 2022).

Figura 40.

Datos del Flujo de carga en el transformador.

Cuadro de flujo de carga

Transformador con dos devanados - 7-1						
Vp.u.	kVLL	kVLN	i (A)	KVA	kW	kVAR
0,958	0,4	0,2	7,0	163	158	39

La Figura 40 señala el flujo de carga del transformador, obteniendo valores en la simulación con el programa CYMDIST, estos valores son casi apegados a los que se calcularon en la Tabla 8.

3.3.4. Flujo de Carga en los Cargadores Modo 4

Para la simulación de los cargadores de VE en modo 4 se usa una fuente de corriente multifrecuencial SHUNT.

Se tomará en consideración distintos parámetros de diseño, como es la inyección de armónicos que posee este tipo de cargadores donde; según Foskolos: para la carga de vehículos eléctricos con cargadores en modo 3 y 4 se necesita de electrónica de potencia, con convertidores AC-DC y DC-DC (Foskolos, 2021). Para la simulación de los cargadores se ingresan los valores de corriente media y ángulos de desfase en el cargador modo 4 como indica la Tabla 17.

Tabla 17.

Armónicos de corriente en modos de carga 3 y 4.

	Carga MODO 3			Carga MODO 4		
	THC (A)	Medio	0,56	THC (A)	Medio	0,56
		Max	0,76		Max	0,76
Nivel de Armónico	Magnitud		Fase	Magnitud		Fase
	I media (A)	I máx. (A)	Ángulo (°)	I media (A)	I máx. (A)	Ángulo (°)
3	0,1	0,26	199	0,05	0,39	246
5	0,22	0,29	296	0,17	0,37	85
7	0,11	0,16	119	0,11	0,16	81
9	0,33	0,42	216	0,31	0,37	216

Nota. Adaptado de Current harmonic modeling of aggregated electric vehicle loads in the low voltage grid, de Foskolos, 2021. Fuente: (Foskolos, 2021).

Los valores de la Tabla se ingresan en el apartado de > análisis de fuentes de frecuencias, donde se escoge el tipo de fuente de corriente y su magnitud en (A). Por el tipo de transformador la fase será equilibrada. Mientras que los ángulos de desfase son establecidos por el programa.

Figura 41.

Inserción de datos de la Tabla 17 para armónicos en CYMDIST.

Orden armónico	Magnitud de la corriente	Desfase de la corriente
3,0	0,05	246,0 °
5,0	0,17	85,0 °
7,0	0,11	81,0 °
9,0	0,31	216,0 °

Haga clic para agregar una nueva fila

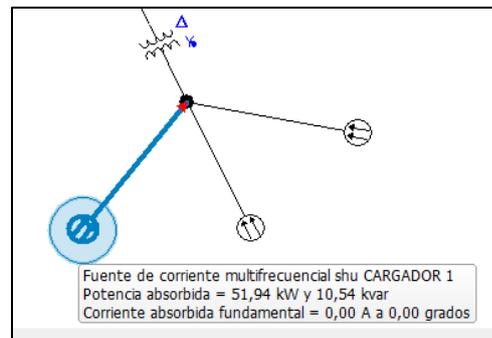
Nota. Para la simulación de armónicos se da doble clic en el símbolo del multifrecuencial SHUNT, se despliega la ventana donde se ingresarán los datos de la tabla 17, en el orden de armónicos con su respectiva corriente y ángulo.

Los valores de los armónicos desde el orden 3 hasta el orden 9 son ingresados en el cuadro según su orden, esto se observa en la Figura 41, para el caso de estudio se ingresan

los armónicos de nivel 3, 5, 7 y 9, se ingresan las magnitudes de corriente y los ángulos de desfase.

Figura 42.

Conexión de cargadores conectados en un nodo en común derivado del transformador.



Nota. Dentro del programa CYMDIST se simulan los cargadores y se ubican 3 de estos derivados del transformador de 200 kVA.

La Figura 42 muestra la derivación de los cargadores directamente del transformador de 200 kVA, presentan una potencia absorbida de 51,94 kW y una potencia reactiva de 10,54 kVAR por cargador.

En conclusión, al incorporar la potencia del transformador de la estación de carga, no se observa un cambio drástico en la red. De hecho, los valores analizados en el estado actual del alimentador Ajaví 1, como se detalla en el Flujo de Carga del apartado 3.2 y se compara con el Flujo de Carga del apartado 3.3.1, muestran cambios mínimos. Esto sugiere que la red es capaz de soportar la potencia adicional del centro de transformación, lo que abre la posibilidad de instalar más estaciones de carga en diversos puntos de la ciudad para alimentar el alimentador Ajaví 1.

3.4 Análisis del Conductor del Alimentador Ajaví 1

El comportamiento del conductor del alimentador Ajaví 1 exhibe variaciones significativas en distintos horarios, y la resistencia de este está influenciada por diversos factores, tales como la longitud, sección transversal, temperatura, pureza del material y configuración. En este caso, el conductor utilizado es de calibre 1/0 AWG, identificado con el nombre "Raven". Este conductor, con una sección transversal de 53,49 mm², tiene una resistencia de cortocircuito a 20°C de 0,5227 ohmios por kilómetro, según las tablas proporcionadas por el fabricante (ELECTROCABLES, 2022). Además, su capacidad máxima

de corriente es de 242 A. Estos parámetros son cruciales para comprender y gestionar el rendimiento del alimentador en diversas condiciones operativas.

3.4.1 Comportamiento del Conductor de Medio Voltaje Instalado

El conductor 1/0 del alimentador Ajaví 1 experimenta picos de corriente que no superan los 150 A de corriente máxima, así como valles que no descienden por debajo de los 50 A. En la Tabla 18 se detallan tanto los picos máximos como los mínimos por línea, junto con el valor total de corriente generado por el alimentador.

Tabla 18.

Datos de corriente obtenidos en el flujo de carga en la cabecera del alimentador.

	FASE A (A)	FASE B (A)	FASE C (A)	TOTAL (A)
MAXIMOS	152,292	130,169	140,7	146,6
MINIMOS	56,1452	54,9809	60,14	57

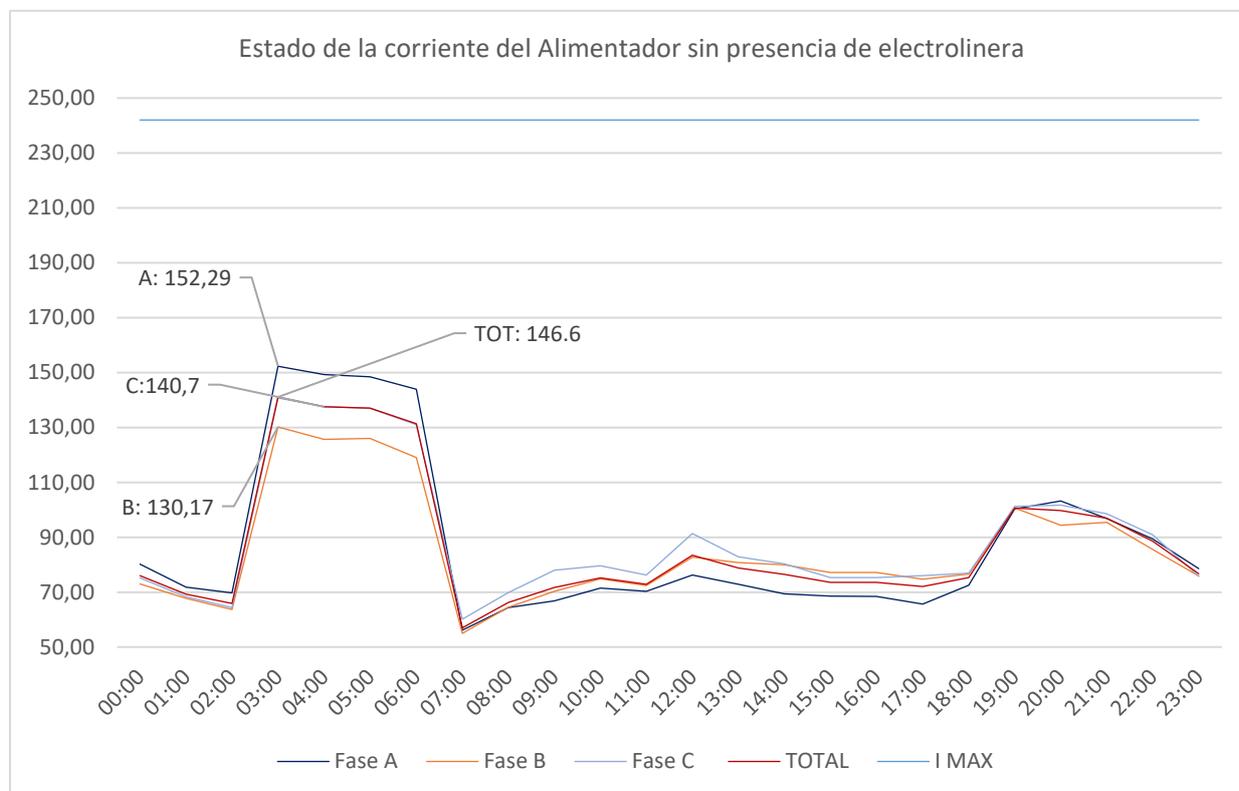
Para analizar este comportamiento, se utilizan las mediciones proporcionadas por la base de datos de EMELNORTE. Estas mediciones se introducen en el programa CYMDIST, donde se simula en el día de máxima demanda con intervalos de una hora. Este enfoque permite entender cómo se comporta la red sin considerar un aumento en la potencia del transformador de la estación de carga.

Con base en las simulaciones realizadas en CYMDIST, se analizaron los datos obtenidos en el flujo de carga del alimentador principal. Los resultados, representados en la Figura 43, ilustran el comportamiento de la red.

Es importante destacar que este patrón de picos altos y bajos se debe al consumo de los usuarios conectados al alimentador. Se puede observar que este comportamiento no sigue una tendencia lineal, ya que cada usuario exhibe distintos patrones de consumo de energía esto se refleja en los patrones de comportamiento de la red de MV. Se registran los picos máximos de cada fase, así como el pico de corriente total del alimentador. Se realiza un análisis por hora para identificar el patrón de comportamiento de la red en un día típico, específicamente durante la jornada de demanda máxima.

Figura 43.

Picos altos y bajos de corriente consumidas por el alimentador.



Se observan los picos máximos de cada fase y el pico de corriente total del alimentador, se hace un análisis por hora para determinar el patrón de comportamiento de la red en un día normal, en el día de demanda máxima.

3.4.2 Comportamiento del Conductor Incluyendo la Estación de Carga

Al incorporar la potencia del transformador de 200 kVA de la estación de carga, se busca evaluar el impacto en el conductor de la red de MV del alimentador Ajaví 1, como se detalló en la sección 3.3.

Utilizando los datos del transformador y la conexión de la estación de carga, se procede a realizar los flujos de carga en diferentes nodos del diseño en CYMDIST. La Tabla 19 con los nuevos datos proporciona simulaciones de los valores máximos y mínimos una vez que se integra la potencia del transformador.

Tabla 19.

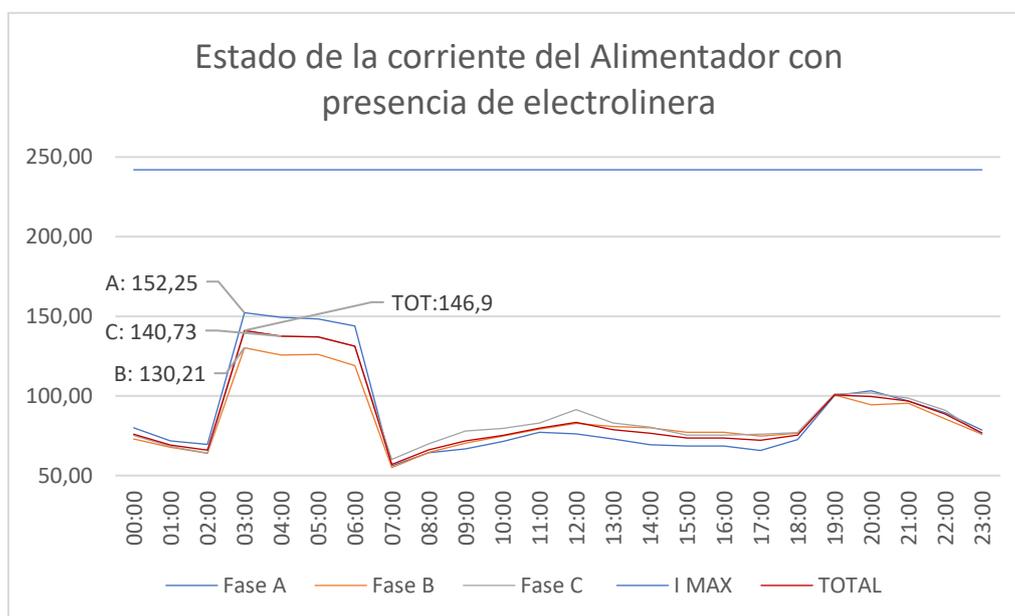
Datos de corriente obtenidos en el flujo de carga en la cabecera del alimentador con presencia de la estación de carga.

	FASE A (A)	FASE B (A)	FASE C (A)	TOTAL (A)
MAXIMOS	152,2503	130,2107	140,7379	146,9
MINIMOS	56,1383	55,0149	60,137	57

A diferencia de la Tabla 18, esta muestra cambios mínimos incluso cuando la estación de carga está conectada a su potencia máxima. Esto indica una afectación mínima al conductor, ya que, como se explicó en el apartado anterior, la corriente máxima del conductor ASCR 1/0 instalado en el alimentador es de 242 A, y los valores simulados no superan este límite. La Figura 44 muestra los picos máximos incluida la estación de carga. En comparación con la Figura 43, se aprecian cambios numéricos mínimos en los valores de corriente máxima proporcionados por el simulador

Figura 44.

Grafica de corrientes y comportamiento del alimentador con presencia de la estación de carga.



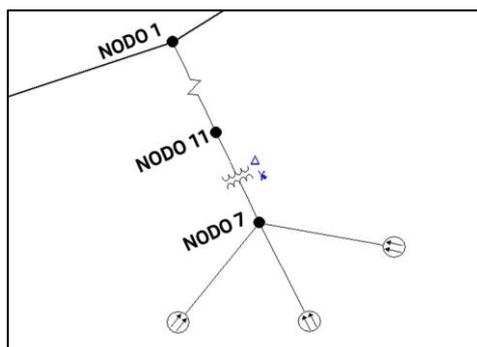
Este estudio y comparación llegan a la conclusión de que el conductor instalado en el alimentador es capaz de soportar la corriente. Al examinar la Figura 44, se evidencia claramente que, incluso al operar a plena carga con la adición de la estación de carga, la corriente generada en el alimentador no excede los límites que el conductor 1/0 AWG puede manejar. Esto sugiere que no se anticipan problemas significativos al operar el sistema a plena capacidad.

3.4.3 Comportamiento de los Conductores de la Estación de Carga.

Se analiza el comportamiento de los conductores de la red soterrada de MV, como se mencionó en el apartado 2.5.6 el conductor seleccionado para la red MV en ductos enterrados es de 2/0 AWG, este tipo de conductor soporta una corriente máxima de 230 A (Ver Anexo L)

Figura 45.

Diseño de Nodos en CYMDIST para análisis de flujo de carga.



La propuesta de diseño mostrada en la Figura 45, muestra la red desde el Nodo 1 hasta los cargadores, la instalación del conductor se realizará desde el punto de derivación en el poste de MV hasta las borneras del transformador Tipo Pad Mounted de 200 kVA. Desde este punto es donde se derivarán los conductores hacia los cargadores. La Tabla 20 muestra en la columna i (A) la corriente en los nodos 1 y 11, obteniendo un valor de 7 A, lo que lleva a la conclusión de que el conductor seleccionado es capaz de soportar dicha corriente.

Tabla 20.

Flujo de carga y comportamiento de la corriente en el nodo 1 y 11.

i (A)	KVA	kW	VAR
7	163	158	39

La Tabla 21 refleja el comportamiento de la red en el Nodo 7, que es el punto de conexión de los cargadores. En la columna de corriente I (A), se observa un valor de 239,4 A. En este punto, la elección del conductor es fundamental, ya que con la estación funcionando a plena carga, se requiere un conductor capaz de soportar esta corriente. Sin embargo, debido a la capacidad de soporte de corriente, se recomienda llevar la acometida desde el transformador hasta la caja de distribución usando un conductor 3/0 que soporta una corriente de hasta 260 A (Ver Anexo L),

Tabla 21.

Flujo de carga y comportamiento de la corriente en el nodo 7

	VP.U.	I (A)	KVA	KW	KVAR
NODO	0,958	239,4	159	156	31
CARGADOR 1	0,954	240,392	52,9548	51,9	10,3
CARGADOR 2	0,959	239,0929	52,9547	51,9	10,3
CARGADOR 3	0,961	238,5876	52,956	51,9	10,3

El análisis del flujo de carga en los cargadores arrojó valores en la columna de corriente I (A) de 79.7 A como total. Como se detalló en la sección 2.5.7, el conductor seleccionado para alimentar energéticamente los cargadores es el conductor número 4 AWG, con una capacidad de corriente de hasta 85 A (Ver Anexo N) como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22.

Flujo de carga en el conductor de los cargadores, y análisis de corriente.

	I (A)
PROMEDIO	79,7
CARGADOR 1	80,0259
CARGADOR 2	79,5934
CARGADOR 3	79,4252

Esta conclusión respalda que el dimensionamiento de los conductores de bajo voltaje está dentro de los parámetros correctos, asegurando un funcionamiento sin problemas en el futuro.

3.5. Armónicos en Cargadores de Vehículos Eléctricos

Los armónicos aparecen por cargas no lineales que se generan en circuitos rectificadores, convertidores y aparatos electrónicos que afectan a la forma de onda del suministro de corriente alterna (Camarillo, 2020)

la Tabla 24 presenta los límites permitidos según la regulación Nro. ARCRNR-002/20, donde se establecen los valores máximos para el factor de distorsión armónica y el THD en las redes de bajo voltaje y medio voltaje. Estos límites son importantes para asegurar un nivel adecuado de calidad de energía y garantizar que los armónicos generados en estas redes estén dentro de parámetros seguros y aceptables para el funcionamiento de los sistemas eléctricos.

Tabla 23. Límites permitidos para factor de distorsión armónica individual y THD.

Nivel de voltaje	Factor de distorsión armónica individual (%)	THD (%)
Bajo Voltaje	5	8
Medio Voltaje	3	5

Nota. Adaptado de la Resolución Nro. ARCERNR-017/2020, de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020, (ARCERNR, 2020).

Concluyendo, no se lleva a cabo un análisis exhaustivo de la generación armónica por parte de los cargadores, ya que los fabricantes de estos dispositivos deben cumplir con requisitos armónicos que no excedan los límites establecidos por las normativas. Con el fin de reducir las fluctuaciones en la red y el flicker, muchos de estos cargadores cumplen con la norma IEC 61000-4-30, que define los procedimientos de medición de cada parámetro eléctrico. Estos parámetros son fundamentales para determinar la calidad del suministro eléctrico, asegurando resultados fiables, repetibles y comparables (Schneider, 2023). Además, la norma clarifica la precisión, el ancho de banda y el conjunto mínimo de parámetros, eliminando la incertidumbre al seleccionar con precisión un instrumento para el análisis de la calidad eléctrica.

3.6. Análisis y Discusión

En el capítulo 2 se diseñó el sistema eléctrico de la estación de carga de vehículos eléctricos, para ello se usó como ejemplo el cargador en modo de carga 4 y para obra civil la configuración 1, establecido en las normativas UC y UP del MEER. Posteriormente se escoge un modelo de electrolinera; siendo este el modelo Raption 50 de la empresa europea Circontrol, obteniendo un Datasheet del cargador donde se provee especificaciones técnicas necesarias para el diseño, siendo este el tipo de carga más rápido existente actualmente. Luego se seleccionan materiales y equipos necesarios para el funcionamiento y diseño de obra civil, obteniendo un resultado de la electrolinera con 3 cargadores.

La integración de la estación de carga en la red de EMELNORTE tiene un impacto limitado en los picos de demanda máxima. Es importante destacar que las gráficas se basan en las mediciones del alimentador Ajaví 1, el cual, sin la presencia de la estación de carga,

experimenta picos de demanda que no superan los 3500 kVA. Con la adición de la potencia de la estación de carga, estos valores se incrementan, alcanzando un máximo de 3687.97 kVA en demanda máxima. Sin embargo, es notable la diferencia respecto a la demanda general, lo que sugiere que incluso durante las horas de máxima demanda, la red puede soportar la inclusión de la estación de carga en sus líneas.

El comportamiento del conductor en el alimentador Ajaví 1 muestra variaciones notables en diferentes momentos del día, y su resistencia se ve influenciada por diversos factores. El conductor utilizado, de calibre 1/0 AWG denominado "Raven", tiene una sección transversal de 53,49 mm² y una resistencia de cortocircuito a 20°C de 0,5227 ohmios por kilómetro, con una capacidad máxima de corriente de 242 A. Es fundamental señalar que los picos altos y bajos observados se deben al consumo de los usuarios conectados al alimentador. Este patrón no sigue una tendencia lineal debido a las variaciones en los patrones de consumo de energía de cada usuario, reflejándose en el comportamiento de la red de MV.

Se registran los picos máximos de cada fase y el pico total de corriente del alimentador, analizando por hora el comportamiento durante un día típico, especialmente durante la jornada de demanda máxima. Los cambios son mínimos incluso cuando la estación de carga está operando a su máxima potencia, indicando una afectación insignificante al conductor. La corriente máxima que puede manejar el conductor ASCR 1/0 instalado en el alimentador es de 242 A, y los valores simulados no superan este límite. En conclusión, este estudio demuestra que el conductor instalado en el alimentador tiene la capacidad de soportar la corriente, incluso operando a plena carga con la adición de la estación de carga.

Conclusiones

- Los vehículos eléctricos presentan una diversidad de baterías con diferentes ciclos de carga y descarga, lo que impacta directamente en la autonomía del vehículo. Esta variabilidad es esencial al evaluar la eficiencia de los vehículos eléctricos en comparación con los vehículos de combustión interna. Por lo que la infraestructura requerida para la recarga rápida de vehículos eléctricos implica una serie de componentes específicos y configuraciones técnicas.
- Cumpliendo con las normativas y parámetros delineados en el Catálogo Digital de Redes de Distribución del Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MEER) de Ecuador, se realizó un diseño integral, tanto eléctrico como civil, para garantizar el suministro eficiente de la estación de carga. Este enfoque consideró cuidadosamente tanto los aspectos de obra civil como los parámetros eléctricos establecidos en el catálogo, asegurando un diseño robusto y acorde a las regulaciones vigentes.
- La determinación de la potencia del transformador (200 kVA) se revela como un elemento crucial que influye en la elección y dimensionamiento de los demás componentes. Este proceso guía hacia la selección de un conductor 2/0 AWG, el cual se conecta a la red a través de una transición de red aérea a subterránea, utilizando pozos interconectados hasta llegar al transformador. Desde este punto, la distribución eficiente de las cargas se lleva a cabo mediante un tablero de distribución, utilizando conductores 4 AWG. Durante este proceso, se incorporan las protecciones tipo 40T y 20SF para red de MV y transformador e interruptor termomagnético para cargadores por lo que se consideran todas las variables esenciales para lograr un diseño eléctrico sólido y seguro.
- La red de MV y el conductor tienen la capacidad de soportar la carga de la estación de carga. El aumento de 200 kVA en el alimentador resulta en un aumento de 1 KVA en la potencia activa en comparación con las lecturas sin la estación de carga, convirtiendo esto en un impacto mínimo en la red. Este fenómeno se debe al comportamiento no lineal de los usuarios conectados al alimentador en diferentes intervalos de tiempo. Además, al aumentar la potencia de la estación de carga, el conductor instalado en la red no genera picos mayores a 142 A, lo que sugiere la viabilidad de instalar incluso más estaciones de carga en el alimentador.

Recomendaciones

- Realizar un estudio exhaustivo de toda la red de EMELNORTE con el objetivo de analizar los posibles puntos estratégicos para la implementación de estaciones de carga, sin que la red sufra daños o repercusiones, es esencial. En cuanto al diseño, se busca mejorar la configuración de estas estaciones incorporando módulos de potencia DC/DC, módulos de comunicación, gestión de carga y cargadores. Esto tiene como fin automatizar el proceso y proporcionar datos en tiempo real al propietario o constructor de la estación de carga.

Referencias

- ANT. (2023). *Homologación vehicular – Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador – ANT*.
<https://www.ant.gob.ec/regulacion/homologacion-vehicular/>
- ARCERNNR. (2020). *Regulacion-002-20*. 1, 10–12.
- Asamblea Nacional. (2021). *Ley Orgánica de Eficiencia Energética* (pp. 1–3).
www.registroficial.gob.ec
- AutoSolar. (2018). *¿Puedo usar mis baterías solares para cargar vehículos eléctricos? | AutoSolar Blog*. <https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/puedo-usar-mis-baterias-solares-para-cargar-vehiculos-electricos>
- Berizzo, R. (2021). *Convertidor e inversor: electrónica básica de los vehículos eléctricos*.
- Camarillo, J. (2020). *Corrientes armónicas: causas, consecuencias y mitigación de impactos*.
<https://www.dielco.co/articulos/corrientes-armonicas-causas-consecuencias-y-mitigacion-de-impactos>
- Cánovas, R. (2023). *▷ Centro de Transformación al Detalle - IngenieroEléctrico.NET*.
<https://ingenieroelectrico.net/centro-de-transformacion/>
- Cepeda, S., Garzón, C., Guazumba, J., & Oramas, D. (2022). *Descripción de las características de los diferentes tipos de baterías utilizadas en los vehículos eléctricos*.
- CNEL. (2011). *MANUAL DE LAS UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES Y EQUIPOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN*.
- CNEL EP. (2020). *Glosario de rubros contenidos en la factura*.
<https://www.cnelep.gob.ec/glosario/>
- CNES. (2023, July 26). *Google Maps*. <https://www.google.com/maps/@0.358963,-78.1124326,113m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>
- Donado, A. (2021). *Tipos de baterías de los autos eléctricos*. <https://autosoporte.com/tipos-de-baterias-de-los-autos-electricos/>

- Dong, B. (2022). *Guía definitiva de transformadores en estrella delta 2022*. <https://daelim-electric.com/es/guia-definitiva-de-transformadores-en-estrella-delta-2022/>
- ELECTROCABLES. (2022). *catalogo-electrocables-ago-2022*. 98–98.
- EMELNORTE. (2023). *Inicio - EMELNORTE*. <https://www.emelnorte.com/eern/>
- ENDESA. (2023a). *Instalación doméstica, sistema de protección y averías*. <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/instalacion-electrica-domestica>
- ENDESA. (2023b). *Instalación doméstica, sistema de protección y averías*. <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/instalacion-electrica-domestica>
- F Moreno. (2016). *Internationalization of Higher Education in the light of some indicators*. 1. <https://www.researchgate.net/publication/305046323>
- Fernández, S. (2021). *Cómo cuidar la batería de tu coche eléctrico: guía de consejos y buenas prácticas*. <https://www.xataka.com/vehiculos/como-cuidar-bateria-tu-coche-electrico-guia-consejos-buenas-practicas>
- Foskolos, G. (2021). *Current harmonic modeling of aggregated electric vehicle loads in the low voltage grid* (Vol. 1).
- FSingeniería. (2020). *Sistemas de Puesta a Tierra (SPT) | FSingeniería*. <https://www.fsingeneria.com/groundingsystem>
- García, J., Saura, X., Carlos, M., & Sánchez, M. (2022). *Diseño de una electrolinera provista con energía solar fotovoltaica*.
- González, C. (2022). *¿Qué es el inversor de un coche eléctrico?* <https://testcoches.es/conceptos/inversor/>
- INATRA. (2023). Dimensiones de bases para transformadores trifásicos Pad Mounted. 1, 2, 1–1.
- ITC-BT-07 MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA, (2004).
- ITC-BT-07, (2004).

- ITC-BT-18. (2005, October). *Instalaciones de puesta a tierra*.
http://roble.pntic.mec.es/jcat0021/NUEVO_REBT/ARCHIVOS/INDICE%20DE%20LAS%20INSTRUCCIONES%20TECNICAS%20COMPLEMENTARIAS_archivos/ITC-BT-18.htm
- José Antonio. (2021). *Partes de un coche eléctrico - Mi Cargador de Coche*.
<https://micargadordecoche.com/partes-de-un-coche-electrico/>
- LugEnergy. (2022). 1. <https://www.lugenergy.com/modos-de-recarga-vehiculos-electricos/>
- Macías, N. (2022). *Diseño de prototipo de carga para vehículos eléctricos con generación híbrida*.
- Mariani, E. (2007). *Sistemas de puesta a tierra bajo normativa IEEE 142 & ANSI*.
- MEER. (2022). *MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS*.
- Mujal, R. M. (2002). *Cálculo de líneas y redes eléctricas*.
- NEC. (2018). *Normativa Ecuatoriana de la Construcción (Instalaciones Eléctricas)*.
<http://www.ieb.com.co>
- Nelsen, E. (2015). *Hybrid and Plug-In Electric Vehicles (Spanish Version) (Brochure), Clean Cities, Energy Efficiency & Renewable Energy (EERE)*.
- Nieto, O. (2022). *Tesla abre 13 de sus supercargadores a coches eléctricos de otras marcas: puntos de recarga en Aragón*. <https://www.heraldo.es/noticias/motor/2022/05/19/tesla-abre-supercargadores-electricos-otras-marcas-1575401.html>
- Normativa, I. (n.d.). *ITC-BT-07 MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA*.
- NTC. (1998). *PROYECTO DE NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2050 (Primera actualización) CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO*.
- Paúl Barros, H., Luis, G., & Ortega, A. O. (2018). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA*.
- Plaza, D. (2019). *Qué es una electrolinera y cómo funciona*. <https://www.motor.es/que-es/electrolinera>

- PORTOTRANS. (2023, July 27). *Transformador Trifásico Tipo Padmounted | Portotransformadores*. <https://portotransformadores.com/productos/transformador-trifasico-tipo-padmouted/>
- Rosas, J., & Trujillo, A. (2022). *ANÁLISIS DE AUTONOMÍA DE BATERÍA Y CICLOS DE CONDUCCIÓN EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO URBANO, EN CIUDADES DE ALTURA*.
- Sandoval, F., Bonilla, J., Tusa, E., & Montoya, O. (2021). *CONTROLADOR DE UN VEHICULO ELECTRICO UTILIZANDO LOS SISTEMAS DE INFERENCIA MANDANI Y SUGENO*.
- Scheneider, E. (2023). *Ficha técnica del producto Principal Gama PowerPact Nombre del producto Nombre corto del dispositivo Aplicación del dispositivo Distribución Opcionales [In] corriente nominal Number of Poles Tipo de control Maneta*.
- Schneider, E. (2023). *¿Qué es la norma IEC 61000-4-30? | Schneider Electric Mexico*. <https://www.se.com/mx/es/faqs/FA134674/>
- Statista. (2021). • *Venta de vehículos eléctricos en Ecuador 2021 | Statista*. <https://es.statista.com/estadisticas/1134805/volumen-ventas-vehiculos-electricos-ecuador/>
- Velatia. (2019). *¿Cómo funciona una estación de carga rápida para vehículos eléctricos?* <https://velatianetworks.com/como-funciona-una-estacion-de-carga-rapida-para-vehiculos-electricos/>
- Volkswagen. (2023). *Cuánto dura la batería de un coche eléctrico - Volkswagen Canarias*. <https://www.vwcanarias.com/es/blog/duracion-bateria-coches-electricos.html>

Anexos

Anexo A. Especificaciones técnicas de la electrolinera

Especificaciones generales

Alimentación AC	3P + N + PE
Tensión AC	400 V AC +/- 10%
Factor de potencia	> 0,98
Eficiencia	95 % a potencia nominal
Frecuencia	50 / 60 Hz
Protección eléctrica de entrada	Desconexión del interruptor principal
Protecciones contra sobrecargas	MCB
Protección contra corriente diferencial	RCD 30mA Tipo A
Comunicaciones	Ethernet 10/100BaseTX
Protocolo	Ocpp 1.5 (1.6 J opcional)
Cumplimiento	CE / Combo-2 (DIN 70121; ISO 15118) EN61851-1; EN61851-23 CHAdeMO certificado
Grado de protección de la envolvente	IP54 / IK10
Material estructura	Acero inoxidable
Temperatura de función	-30 °C hasta +50 °C
Temperatura de almacenamiento	-40 °C hasta +60 °C
Humedad máxima	5 % a 95 % sin condensación
Sistema RFID	ISO / IEC14443A / B MIFARE Classic / DESFire EV1 ISO 18092 / ECMA-340 NFC 13.56MHz

Fuente: (Normativa, n.d.)

Anexo B Sección nominal de conductores en ternas unipolares tetrapolares

SECCIÓN NOMINAL mm ²	Terna de cables unipolares (1) (2)			1 cable tripolar o tetrapolar (3)		
						
	TIPO DE AISLAMIENTO					
	XLPE	EPR	PVC	XLPE	EPR	PVC
16	97	94	86	90	86	76
25	125	120	110	115	110	98
35	150	145	130	140	135	120
50	180	175	155	165	160	140
70	220	215	190	205	220	170
95	260	255	225	240	235	210
120	295	290	260	275	270	235
150	330	325	290	310	305	265
185	375	365	325	350	345	300
240	430	420	380	405	395	350
300	485	475	430	460	445	395
400	550	540	480	520	500	445
500	615	605	525	-	-	-
630	690	680	600	-	-	-

Anexo C. Sección nominal de conductores y sus resistencias a diferentes temperaturas

Sección	Cobre (flexible, clases 5 o 6)			
	Diámetro máximo de conductor*	Resistencia (cc, 20 °C)*	Resistencia (ca, 70 °C)	Resistencia (ca, 90 °C)
	mm	Ω/km	Ω/km	Ω/km
0,5	1,1	39	46,66	49,73
0,75	1,3	26	31,11	33,15
1	1,5	19,5	23,33	24,86
1,5	1,8	13,3	15,91	16,96
2,5	2,4	7,98	9,55	10,18
4	3	4,95	5,92	6,31
6	3,9	3,3	3,95	4,21
10	5,1	1,91	2,29	2,44
16	6,3	1,21	1,48	1,54
25	7,8	0,78	0,934	0,995
35	9,2	0,554	0,663	0,707
50	11	0,386	0,463	0,493
70	13,1	0,272	0,326	0,348
95	15,1	0,206	0,248	0,264
120	17	0,161	0,195	0,207
150	19	0,129	0,157	0,167
185	21	0,106	0,13	0,138
240	24	0,0801	0,1	0,106
300	27	0,0641	0,082	0,086

Fuente:(Normativa, n.d.)

Anexo D. Tabla de resistencias y reactancias por sección de conductor.

Resistencia eléctrica c.a. y reactancia inductiva para Cables de Cobre, instalación trifásica para 600V a 60Hz y 75°C. Tres conductores sencillos en tubo conduit					
Calibre AWG / kcmil	Resistencia a corriente alterna R (ohm/km)			Reactancia Inductiva X _L (ohm/km)	
	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de Acero	Conduit de PVC o Aluminio	Conduit de Acero
14	10.17	10.17	10.17	0.190	0.240
12	6.56	6.56	6.56	0.177	0.223
10	3.94	3.94	3.94	0.164	0.207
8	2.56	2.56	2.56	0.171	0.213
6	1.61	1.61	1.61	0.167	0.210
4	1.02	1.02	1.02	0.157	0.197
2	0.623	0.656	0.656	0.148	0.187
1/0	0.394	0.427	0.394	0.144	0.180
2/0	0.328	0.328	0.328	0.141	0.177
3/0	0.253	0.269	0.259	0.138	0.171
4/0	0.203	0.219	0.207	0.135	0.167
250	0.171	0.187	0.177	0.135	0.171
350	0.125	0.141	0.128	0.131	0.164
500	0.089	0.105	0.095	0.128	0.157

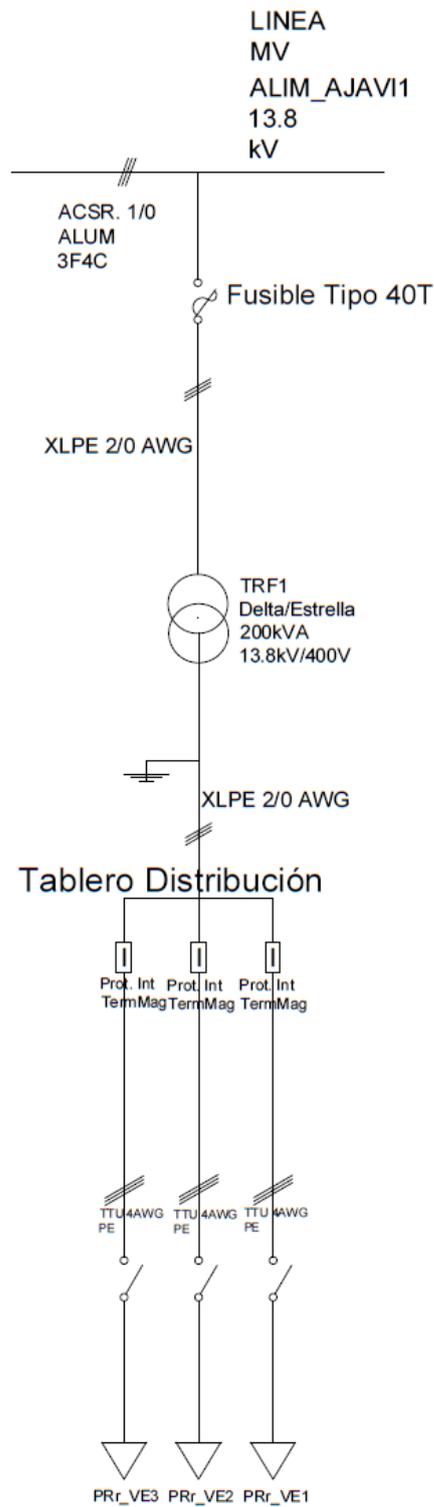
Anexo E. Tabla de valores de corriente, a plena carga, sin carga y voltaje de cortocircuito.
Fuente: Norma INEN 2115:2004.

POTENCIA NOMINAL (kVA)	I_o (% de I_n)	P_o (W)	P_c (W)	P_t (W)	U_{zn} (%)
75	3,5	388	1 366	1 754	6,0
112,5	2,6	504	1 898	2 402	6,0
150	2,6	608	2 397	3 005	6,0
225	2,5	791	3 331	4 122	6,0
300	2,0	953	4 208	5 161	6,0
400	2,0	1 148	5 315	6 463	6,0
500	1,7	1 327	6 370	7 697	6,0
630	1,7	1 542	7 685	9 227	6,0
750	1,5	1 727	8 853	10 580	6,0
800	1,5	1 800	9 330	11 130	6,0
1 000	1,2	1 983	12 046	14 029	6,0
1 250	1,0	2 367	14 320	16 687	6,0
1 600	1,0	2 879	17 420	20 299	6,0
2 000	1,0	3 436	20 844	24 280	6,0

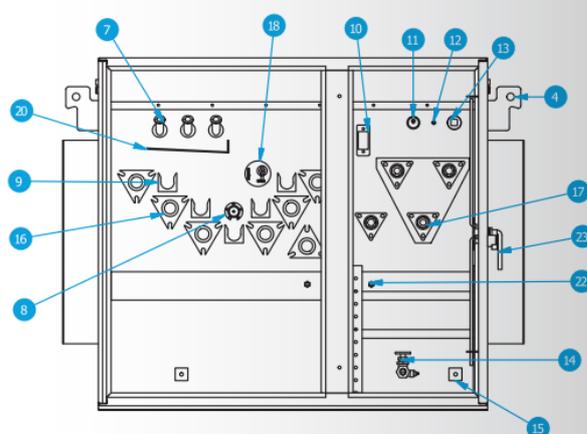
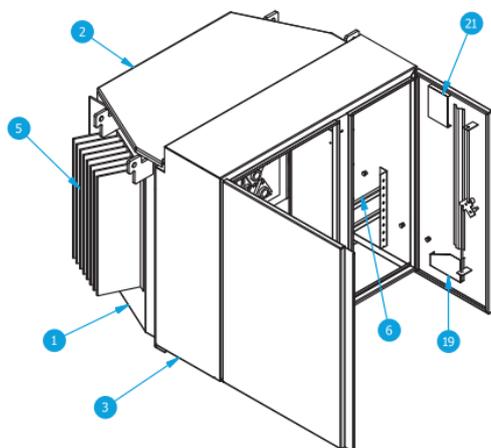
Anexo F. Sección de conductor para BT.

CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Espesor de Chaqueta (mm)	Diámetro Externo Aprox. (mm)	Peso total Aprox. (kg/ km)	*Capacidad de Corriente (A)
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm ²)	No. Hilos					
FORMACIÓN CABLEADO CONCÉNTRICO							
8	8,367	7	1,40	0,76	8,02	122,71	50
6	13,3	7	1,40	0,76	8,98	175,47	65
4	21,15	7	1,40	0,76	10,20	257,14	85

Anexo G. Circuito General



Anexo H. Partes del transformador Pad Mounted.



Anexo I. Descripciones de las partes del transformador.

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
1	1	Cuba	Acero al carbono
2	1	Tapa emperrada	Acero al carbono
3	1	Armario desmontable	Con puertas abisagradas
4	4	Soportes de izado	Acero al carbono
5	3	Panel de refrigeración	Plegado acero al carbono
6	1	Soporte de breaker de baja tensión	Acero al carbono
7	3	Portafusibles	Bay-o-net
8	1	Cambiador	Sin carga
9	5	Soporte de parqueo	Acero al carbono
10	1	Visor de aceite	Mica transparente
11	1	Válvula de sobrepresión	Sin contactos
12	1	Válvula de nitrógeno	Tipo neumática
13	1	Tapón llenado	Acero al carbono
14	1	Válvula de drenaje	Con toma de muestras
15	2	Conectores a tierra	Platina acero inoxidable
16	7*	Bushing tipo pozo	Polímero
17	4*	Bushing tipo pad	Polímero
18	1**	Seccionador	Dos posiciones
19	1	Portapapeles	Acero al carbono
20	1	Colector de aceite	Acero al carbono
21	1	Placa de características	Acero inoxidable
22	1	Tuerca neutro	1/2"
23	1	Manija de seguridad	Tres puntos

Anexo J. Características del transformador CYME.

Propiedades del tramo

Nombre del tramo:

Fase: A B C

Zona:

Medio ambiente: Más...

Dispositivos:

- Nodos
 - Transformador con dos devanados
 - Medidor

Transformador con dos devanados

Nombre:

Número:

Estado:

Ubicación:

Reversible

Etapas:

Parámetros

General

Primario:

Indicador de falla:

Commutador de toma no energizada

Toma al primario: % kVLL

Toma al secundario: % kVLL

Impedancias de puesta a tierra

	Rg	Xg	
Primario:	<input type="text" value="0,0"/>	<input type="text" value="0,0"/>	Ω
Secundario:	<input type="text" value="0,0"/>	<input type="text" value="0,0"/>	Ω

Tensión nominal del sistema

Primario: kVLL Definido por el usuario

Secundario: kVLL Definido por el usuario

Configuración

Primario:

Secundario:

Desfase:

Desfase Gamma:

Ramal abierto:

Fase toma al centro:

Protección

Anexo K. Conductores de Aluminio ASCR reforzado con acero galvanizado.

CÓDIGO	Calibre (AWG o kcmil)	Sección transversal (mm ²)	Construcción				Diámetro del conductor (mm)	Peso Total Aprox (kg / km)	Carga de Rotura (kgf)	Resistencia a C.C. a 20 °C (ohm/km)	Capacidad de Corriente (A)*
			No. Hilos		Diámetro hilos (mm)						
			Aluminio	Acero	Aluminio	Acero					
Turkey	6	13,3	6	1	1,680	1,680	5,04	54,01	540	2,1065	105
Swan	4	21,16	6	1	2,118	2,118	6,35	85,87	843	1,3232	140
Sparrow	2	33,62	6	1	2,672	2,672	8,02	136,56	1292	0,8316	184
Raven	1/0	53,49	6	1	3,370	3,370	10,11	217,25	1986	0,5227	242
Quail	2/0	67,44	6	1	3,782	3,782	11,35	273,82	2404	0,4151	276
Pigeon	3/0	85,02	6	1	4,247	4,247	12,74	345,23	3002	0,3292	315
Penguin	4/0	107,2	6	1	4,770	4,770	14,31	435,35	3786	0,2610	357
Waxwing	266,8	135,19	18	1	3,092	3,092	15,46	432,10	3120	0,2112	449
Partridge	266,8	135,19	26	7	2,573	2,000	16,30	546,49	5125	0,2091	475
Ostrich	300	162	26	7	2,730	2,120	17,28	614,32	5760	0,1860	492
Piper	300	162	30	7	2,540	2,540	17,78	698,90	7000	0,1802	490
Merlin	336,4	170,45	18	1	3,472	3,472	17,36	544,83	3936	0,1674	519
Linnet	336,4	170,45	26	7	2,888	2,250	18,29	689,87	6393	0,1660	529
Oriole	336,4	170,45	30	7	2,690	2,690	18,83	783,77	7847	0,1647	535
Chickadee	397,5	201,41	18	1	3,774	3,774	18,87	643,78	4508	0,1416	576
Brant	397,5	201,41	24	7	3,270	2,180	19,61	762,05	6622	0,1411	584
Ibis	397,5	201,41	26	7	3,140	2,440	19,88	813,95	7393	0,1405	587
Lark	397,5	201,41	30	7	2,923	2,920	20,46	925,09	9208	0,1394	594
Pelican	477	241,70	18	1	4,135	4,135	20,68	772,57	5352	0,1180	646
Flicker	477	241,70	24	7	3,581	2,390	21,48	914,86	7801	0,1174	655
Hawk	477	241,70	26	7	3,439	2,674	21,80	976,99	8845	0,1170	659
Hen	477	241,70	30	7	3,203	3,203	22,42	1111,30	10795	0,1162	666
Heron	500	253,35	30	7	3,279	3,279	22,95	1164,80	11086	0,1141	694
Osprey	556,5	281,98	18	1	4,466	4,466	22,32	901,32	6214	0,1012	711
Parskeet	556,5	281,98	24	7	3,870	2,580	23,22	1067,01	8981	0,1007	721

Anexo L. Conductores de cobre TRXLPE.

Conductor			Diámetro de conductor (mm)	Espesor de Aislamiento Promedio (mm)	NEUTRO		Espesor mínimo de chaqueta (mm)	Diámetro Externo Aprox. (mm)	Peso Total Aprox. (kg/km)	Capacidad de corriente (A)*	
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm ²)	Num. Hilos			CALIBRE (AWG)	Num. Hilos				Directamente enterrado**	En ducto***
2	33,62	7	6,81	4,45	14	6	1,14	23,78	754,49	210	155
1	42,4	7	7,60	4,45	14	7	1,14	24,57	870,08	240	175
1/0	53,49	19	8,55	4,45	14	9	1,14	25,52	1028,80	275	200
2/0	67,44	19	9,57	4,45	14	11	1,14	26,54	1214,84	310	230
3/0	85,02	19	10,80	4,45	14	14	1,14	27,77	1457,02	355	260
4/0	107,2	19	12,10	4,45	12	11	1,14	29,91	1754,40	405	295
250	126,7	37	14,17	4,45	12	13	1,14	32,77	2076,16	440	325
350	177	37	16,79	4,45	12	18	1,14	35,39	2739,79	535	390
500	253	37	20,04	4,45	10	17	1,14	39,72	3778,44	650	465

Anexo M Conductores de Aluminio Tríples con Neutro Desnudo para Acometida

TRES CONDUCTORES							
8-8-8	7	5	10,44	X	16,48	159,72	45
6-6-6	7	8	11,47	X	18,04	207,54	55
4-4-4	7	13	12,59	X	20,28	288,31	75
2-2-2	7	20	13,99	X	23,08	407,34	100
1/0-1/0-1/0	19	32	16,46	X	27,70	621,37	135
2/0-2/0-2/0	19	36	17,67	X	29,94	754,99	150
3/0-3/0-3/0	19	29	19,72	X	33,32	902	175
4/0-4/0-4/0	19	36	21,02	X	35,82	1126,05	205

Anexo N Conductores de Cobre con hilos (Flexible)

CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Diámetro Externo Aprox. (mm)	Peso total Aprox. (kg/ km)	*Capacidad de Corriente (A)
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm ²)	Diámetro de hilos (mm)				
24	0.205	0.23	0.51	1.81	4.38	——
22	0.324	0.23	0.51	1.77	5.80	——
20	0.519	0.23	0.78	2.44	10.04	——
18	0.823	0.3	0.78	2.72	14.04	8
16	1.31	0.3	0.78	3.03	19.47	9
14	2.08	0.3	0.78	3.42	27.72	15
12	3.31	0.3	0.78	3.90	40.43	20
10	5.281	0.4	0.78	4.51	58.48	30
8	8.387	0.4	1.52	6.81	112.18	40
6	13.30	0.4	1.52	7.78	169.58	55
4	21.15	0.4	1.52	9.05	258.35	70
2	33.82	0.4	1.52	10.80	389.81	95
1	42.4	0.4	2.03	12.55	495.07	110
1/0	53.49	0.4	2.03	13.80	637.48	125
2/0	67.44	0.4	2.03	14.77	748.52	145
3/0	85.02	0.4	2.03	16.08	920.82	165
4/0	107.2	0.4	2.03	17.58	1138.48	195
250	127	0.4	2.41	19.50	1385.02	215
300	152	0.4	2.41	20.89	1613.49	240
350	177	0.4	2.41	22.18	1880.87	260
400	208	0.4	2.41	23.97	2108.71	280
500	259	0.4	2.41	25.55	2593.01	320
600	304	0.4	2.78	28.31	3138.74	350
750	380	0.4	2.78	30.88	3888.93	400
1000	507	0.4	2.78	34.83	5084.94	455