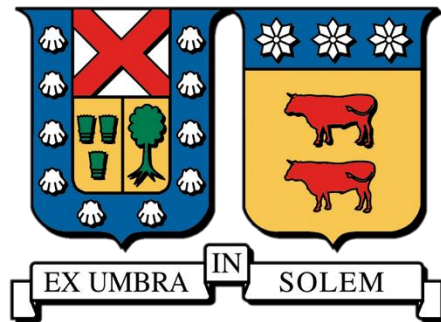


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO-CHILE



“Análisis Técnico y Operacional de la Gestión de
Carga para Buses Eléctricos en el Transporte Público”

Matías Ignacio Beltrán Poblete

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MECÁNICO

Profesor Guía: Dr. Mauricio Osses Alvarado

Profesor Correferente: Ing. Luis Guzmán Bonet

JULIO-2023

Agradecimientos

Esta etapa de mi vida ha estado llena de distintas emociones, tanto buenas como malas, pero cada una de estas fue parte de mi crecimiento personal. A lo largo de mi vida he tenido un gran apoyo de parte de distintas personas que son muy importante en mi vida.

Primero quiero agradecer a mi familia, a mi mamá por cuidarme, preocuparse por mí y darme todo lo que necesito, a mi papá por su apoyo y consejos, ambos me han dado un cariño inmenso, han sido unos pilares muy importantes en mi vida. A mi hermano también, por la compañía y las risas. Soy muy afortunado por la familia que tengo.

También quiero agradecer a mis amigos, que me han dado muchos momentos lindos que recordar, muchas risas, mucha compañía, esos días de estudio en conjunto que ayudaron a trabajar en equipo. A toda la gente que llegó en este transcurso que han estado a mi lado.

Finalmente, al profesor Mauricio Osses por guiarme en este trabajo y a los demás profesores de esta universidad que realizaron un buen trabajo en transmitir sus conocimientos.

Resumen

El cambio climático ha llevado al Estado de Chile tomar medidas como impulsar políticas y tecnologías que permitan reducir la contaminación, la llegada de la electromovilidad ha aportado significativamente cuando hablamos del sector de transporte en Chile. Sin embargo, junto con el uso de los vehículos eléctricos, han surgido nuevos desafíos.

El transporte público y su electrificación se presentó con la adopción masiva de buses eléctricos, estos necesitan distintos tipos de estudios donde se analicen nuevas variables que con los buses diésel no se presentaban. Uno de estos es la carga del bus eléctrico, la cual es el enfoque principal de este trabajo, la gestión de carga de los buses eléctricos en el transporte público.

Los objetivos de esta memoria son conocer los sistemas de gestión de carga nacionales e internacionales, analizar el estado actual de la movilidad eléctrica en la Región Metropolitana, y presentar y proponer tantos los parámetros técnicos que influyen en la gestión de carga como medidas para enfrentar los desafíos que se presentan al introducir la gestión de carga en el transporte público.

Se utilizaron dos metodologías, la primera consistió en una encuesta realizada a Subus Chile S.A. para conocer sus buses eléctricos, infraestructura de carga y como realizan la gestión de carga, la segunda consiste en el uso del método de Estructura de Desglose del Trabajo (EDT), que consiste en realizar una técnica utilizada en la gestión de proyectos para descomponer un proyecto en componentes más pequeños y manejables.

Este trabajo presenta el estudio realizado de los distintos sistemas de gestión de carga inteligentes que existen, se entrega información de las distintas metas que se establecen en la estrategia nacional de electromovilidad, como también se han propuesto medidas concretas para enfrentar los desafíos asociados a la gestión de carga de los buses eléctricos en el transporte público. Estas medidas se centran en las principales tareas identificadas con el método EDT: investigación, planificación de rutas y horarios, infraestructura de carga, sistemas de gestión de carga inteligente, monitoreo, análisis de datos, capacitación y mantenimiento.

Abstract

Climate change has led us to take measures such as promoting policies and technologies that allow us to reduce pollution. The advent of electromobility has made a significant contribution, particularly in the transportation sector in Chile. However, along with the use of electric vehicles, new challenges have emerged.

Public transportation electrification, particularly the widespread adoption of electric buses, has introduced various factors that were not relevant with diesel buses. One of these factors is the charging of electric buses, which is the main focus of this work is the charge management of electric buses in public transport.

The objectives of this thesis are to explore national and international charging management systems, analyze the current state of electric mobility in the Metropolitan Region, and propose measures to address the challenges associated with electric bus charging management in public transportation. Two methodologies were employed: a survey conducted with Subus Chile S.A. to gather information about their electric buses, charging infrastructure, and current charging management practices, and the Work Breakdown Structure (WBS) method, a project management technique used to decompose a project into smaller, more manageable components.

This study presents an analysis of various intelligent charging management systems, provides insights into the goals outlined in the national electromobility strategy, and proposes specific measures to tackle the challenges associated with electric bus charging management in public transportation. These measures focus on the main tasks identified through the WBS method, including research, route and schedule planning, charging infrastructure, intelligent charging management systems, monitoring and data analysis, training and maintenance.

.

Glosario

BE: Bus eléctrico.

VE: Vehículo Eléctrico.

BEV: Vehículo Eléctrico a Batería.

HEV: Vehículo Eléctrico Híbrido No Enchufable.

PHEV: Vehículo Eléctrico Híbrido Enchufable.

EREV: Vehículo Eléctrico de Autonomía Extendida.

FECV: Vehículo Eléctrico a Pila de Combustible.

LIB: Batería de Ion-Litio.

AC: Corriente Alterna.

DC: Corriente Continua.

OLEV: Vehículo Eléctrico en línea.

DCR: Corriente residual diferencial.

CCS: Conector Combinado o Combo Tipo 1 y Tipo 2.

ANAC: Asociación Nacional Automotriz de Chile.

BMS: Sistema de Gestión de Batería.

SEC: Superintendencia de Electricidad y Combustible.

SAVE: Sistema de Alimentación para Vehículos Eléctricos.

ECLP: Estrategia Climática de Largo Plazo.

PEN: Política Energética Nacional 2050.

EH2V: Estrategia Nacional de Hidrogeno Verde.

PELP: Planificación Energética de Largo Plazo.

ONG: Organización No Gubernamental.

NN: Red Neuronal.

DPR: Reconocimiento de Patrones de Conducción.

DP: Programación Dinámica.

SoH: Estado de Salud.

SoC: Estado de Carga.

GEI: Gas de Efecto Invernadero.

EDT: Estructura de Desglose del Trabajo.

DPTM: Directorio de Transporte Público Metropolitano.

Índice General

Agradecimientos	i
Resumen	ii
Abstract	iii
Glosario	iv
Introducción	ix
Objetivos	ix
Objetivo General	ix
Objetivos Específicos	ix
1. Estado del Arte	1
1.1. Tipos de Vehículos Eléctricos	1
1.1.1. Vehículo Eléctrico a Batería (BEV).....	1
1.1.2. Vehículo Eléctrico Híbrido No Enchufable (HEV)	1
1.1.3. Vehículo Eléctrico Híbrido Enchufable (PHEV)	1
1.1.4. Vehículo Eléctrico de Autonomía Extendida (EREV).....	1
1.1.5. Vehículo Eléctrico a Pila de Combustible (FECV).....	2
1.2. Baterías.....	2
1.2.1. Tipos de Baterías	2
1.2.2. Parámetros de las Baterías	4
1.3. Infraestructura de Carga	4
1.3.1. Cargador Tipo Plug-in.....	5
1.3.2. Cargador Tipo Pantógrafo	5
1.3.3. Cargador por Inducción	6
1.4. Clasificación de los Puntos de Carga.....	6
1.4.1. Niveles de Recarga	6
1.4.2. Modos de Carga.....	7
1.4.3. Tipos de Conectores	8
1.5. Situación Nacional de Electromovilidad en Chile	9
1.5.1. Buses Eléctricos.....	10
1.5.2. Electroterminales	16
1.5.3. Sistema de Transporte Público de Santiago	20
1.5.4. Estrategia Nacional de Electromovilidad.....	21
1.6. Sistemas de Gestión de Carga Nacionales e Internacionales	24
1.7. Gestión de Energía, Programación de Carga de Buses Eléctricos y sus Impactos.	25
1.7.1. Ciclo de Conducción	25
1.7.2. Gestión de Potencia/Energía.....	26

1.7.3.	Degradación de la Batería de Litio	26
1.7.4.	Carga Inteligente (Smart Charging).....	28
1.7.5.	Modelamiento de la Demanda de Carga	29
1.7.6.	Impacto del Bus Eléctrico en los Sistemas de Energía.....	29
2.	Metodología	31
2.1.	Encuesta y Visita Subus Chile S.A.....	31
2.2.	Estructura de desglose del trabajo (EDT)	32
3.	Resultados	34
3.1.	Respuesta de Subus Chile S.A.....	34
3.1.1.	Flota de Buses y Cargadores.....	34
3.1.2.	Gestión de Carga de Subus Chile S.A.....	37
3.1.3.	Parámetros que Influyen en el Modelo Operacional	37
3.2.	Desarrollo Método EDT	38
3.2.1.	Tareas Principales de la Gestión de Carga	38
3.2.2.	Tareas Específicas de la Gestión de Carga.....	40
3.2.3.	Descripción de las Tareas de Gestión de Carga.	42
3.2.4.	Diagrama de Gestión de Carga	47
3.3.	Parámetros Técnicos de la Gestión de Carga.....	48
4.	Conclusiones	52
4.1.	Conclusión General	52
4.2.	Conclusiones Específicas	53
4.2.1.	Objetivo Específico 1	53
4.2.2.	Objetivo Específico 2	54
4.2.3.	Objetivo Específico 3	54
4.2.4.	Objetivo Específico 4	55
4.3.	Recomendaciones a Futuro.....	57
5.	Bibliografía	58

Índice de Figuras

Figura 1: Buses eléctricos en Chile por fabricante [4].	13
Figura 2: Distintos modelos presentes en Chile y sus características [3].	13
Figura 3: Puntos de Carga en todo Chile junto con los distintos tipos y potencias [5].	16
Figura 4: Puntos de Carga en la Región Metropolitana junto con los distintos tipos y potencias [5].	17
Figura 5: Distintos tipos de Instalaciones para la carga de Vehículos Eléctricos en Chile [5].	17
Figura 6: Instalaciones de carga en Chile [5].	18
Figura 7: Instalaciones tipo centro de carga para el transporte público [5].	18
Figura 8: Instalaciones tipo Electroterminales en Chile [5].	19
Figura 9: Mapa de Electroterminales en Santiago de Chile [5].	19
Figura 10: Las 9 preguntas para el camino a la carga inteligente [11].	28
Figura 11: Representación gráfica ejemplo del EDT elaboración propia a partir de [15].	33
Figura 12: Fotografía General, a la izquierda buses fuera de operación y en la derecha zona de carga de buses [foto propia].	35
Figura 13: Cargador Enel X, se muestran ambas mangueras de carga. [foto propia].	35
Figura 14: Zoom al cargador, donde se observa un tipo de conector CCS y carga del 79%, entregando 180 kW [foto propia].	36
Figura 15: Conexión del cargador con el bus eléctrico [foto propia].	36
Figura 16: Diagrama EDT de Gestión de Carga de Buses Eléctricos con sus tareas principales. [elaboración propia]	39
Figura 17: Diagrama EDT de la Gestión de Carga con cada una de sus tareas [elaboración propia].	48

Introducción

Los sistemas de transporte son unos de las principales fuentes de contaminación del aire, por esta razón el desarrollo de transporte con fuentes alternativas de energía generaría ventajas tanto al medio ambiente como a la diversificación de fuentes. La electromovilidad en Chile ha alcanzado una gran relevancia en los últimos años, lo que se ha traducido en una necesidad de generar herramientas para la gestión de energía en la flota eléctrica.

Se están produciendo cambios que se generan con la transición energética, que se pueden observar en la demanda producida en la energía eléctrica, al ser el transporte eléctrico el próximo principal transporte masivo, se enfrentan retos que van más allá de los costos asociados a la adquisición de vehículos eléctricos, ya que estos sistemas deben cumplir con ciclos de trabajo, tiempos y desplazamientos exigentes para prestar un servicio adecuado a los usuarios. Esto exige condiciones especiales que los encargados a diseñar los sistemas de transporte deberán cumplir para brindar estabilidad y confiabilidad al sistema, manteniendo la cuota de servicio adecuada y permitiendo un óptimo manejo de procesos de carga con el fin de superar a los sistemas de buses tradicionales.

Es por esto, que en colaboración con Subus Chile S.A., se estudiará la información que requiere del manejo de grandes cantidades de datos, analizando el cómo se gestiona la energía en una flota eléctrica a modo de predecir como es su consumo. Con la investigación de distintos métodos para permitir la gestión de carga de baterías y su coordinación con la red eléctrica del país.

Objetivos

Objetivo General

El objetivo general de este trabajo es analizar técnica y operacionalmente la gestión de carga para buses eléctricos en el transporte público.

Objetivos Específicos

- Realizar investigación bibliográfica nacional e internacional sobre sistemas de gestión de carga de vehículos eléctricos.
- Analizar el estado actual de la movilidad eléctrica en el transporte público en la Región Metropolitana.
- Identificar todos los parámetros técnicos a considerar para la integración de un sistema de gestión de carga en el modelo operacional de una flota de buses.
- Proponer medidas para poder enfrentar los desafíos asociados a la gestión de carga de los buses eléctricos en el transporte público.

1. Estado del Arte

Un vehículo eléctrico (VE), es aquel propulsado por uno o más motores eléctricos, usando energía eléctrica almacenada normalmente en baterías recargables. Existen muchos tipos de vehículos eléctricos, pero nos referiremos principalmente a los buses eléctricos. A continuación, hablaremos de los distintos Tipos de Vehículos Eléctricos, Tipos de Baterías, Tipos de Cargadores, Clasificación de los Puntos de Carga y Tipos de Conectores.

1.1. Tipos de Vehículos Eléctricos

Existen los siguientes tipos de vehículos eléctricos, según su grado de electrificación [1].

1.1.1. Vehículo Eléctrico a Batería (BEV)

El vehículo eléctrico a batería se caracteriza por no tener motor a combustión interna en su interior, en cambio posee uno o más motores eléctricos para su propulsión, el cual se alimenta de la batería eléctrica del vehículo, que a su vez se recarga conectándose a la red eléctrica, al no tener motor a combustión interna no emite gases de efecto invernadero (GEI) en su recorrido, pero si se pueden producir GEI al momento de la generación de la energía que suministra a las baterías, es decir la generación por parte de las centrales térmicas.

1.1.2. Vehículo Eléctrico Híbrido No Enchufable (HEV)

Este tipo de vehículo eléctrico se conforma tanto por un motor a combustión y uno o más motores eléctricos, que se utilizan independientemente para la propulsión del vehículo, en este tipo de vehículo las baterías que alimentan al motor eléctrico no pueden ser recargadas conectándose a la red eléctrica, sino en cambio son recargadas por el motor a combustión interna y los frenos regenerativos que posee, en este tipo de vehículo se logra mayores rendimientos del tipo de combustible que utilice gracias al motor eléctrico. Al tener motor a combustión que se alimenta de combustible fósiles emite GEI.

1.1.3. Vehículo Eléctrico Híbrido Enchufable (PHEV)

La estructura de este vehículo es muy similar al vehículo eléctrico híbrido no enchufable, sus principales diferencias radican en que las baterías que posee este vehículo tienen mayor capacidad de almacenar energía, lo cual hace que tengan una mayor autonomía en sus recorridos y su vez estas baterías pueden ser recargadas conectándose a la red eléctrica punto que es muy útil, ya que se puede disponer de ambos tipos de recarga. Este vehículo al tener un motor a combustión interna emite GEI en su funcionamiento.

1.1.4. Vehículo Eléctrico de Autonomía Extendida (EREV)

Este tipo de vehículo posee una estructura muy similar ya sea al HEV o al PHEV, se caracteriza principalmente en que el motor a combustión interna que posee lo utiliza para suministrar energía a las baterías, por lo cual se le puede considerar como un vehículo

eléctrico híbrido que se clasificaría dependiendo de su recarga, si es conectado o no a la red eléctrica. Al tener motor a combustión interna emite GEI en su funcionamiento.

1.1.5. Vehículo Eléctrico a Pila de Combustible (FECV)

El FECV cuenta con uno o más motores eléctricos que se alimentan de una pila de combustible que se suministra con un tanque de hidrógeno, al no tener motor a combustión no emite GEI en su funcionamiento. Esta tecnología está en pleno desarrollo y va a requerir mayores avances e incentivos que promuevan este tipo de tecnología, para que en el futuro próximo se llegue a orientar como la mejor opción de VE.

Si bien existen muchos tipos de vehículos eléctricos, con respecto a esta memoria, el principal enfoque que se le dará es al BEV, el cual es el principal que se utiliza en el sistema de transporte público chileno.

1.2. Baterías

Uno de los principales componentes de todo vehículo eléctrico es la batería. Es una fuente de almacenamiento de energía que suministra la electricidad necesaria para alimentar el motor eléctrico y propulsar el vehículo eléctrico. Su importancia es tal que la autonomía y el precio del coche dependen del tipo y tamaño de esta. A continuación, se describen los distintos tipos de batería [2].

1.2.1. Tipos de Baterías

- **Batería de plomo-ácido:** Es el tipo de batería más utilizada y, al mismo tiempo, la más antigua de todas, permaneciendo casi inalterada desde su invención en el Siglo XIX. Su bajo costo las hace ideales para las funciones de arranque, iluminación o soporte eléctrico, siendo utilizadas como acumuladores en vehículos de pequeño tamaño. Sus desventajas son el excesivo peso, la toxicidad del plomo y su lenta recarga, por ello no son las baterías ideales para el coche eléctrico.
- **Batería níquel-cadmio:** Bastante utilizadas en la industria del automóvil, el alto costo de adquisición de sus elementos hace que no sean la solución elegida por los fabricantes, estando más orientadas a aviones, helicópteros o vehículos militares, dado su gran rendimiento a bajas temperaturas. Poseen efecto memoria, por lo que su capacidad se ve reducida con cada recarga.
- **Batería níquel-hidruro metálico:** Similares a las de níquel-cadmio, mejoran la capacidad de estas, y reducen el efecto memoria, además de ser menos agresivas con el medio ambiente. En contra tienen su constante mantenimiento y su deterioro frente a altas temperaturas, altas corrientes de descarga o sobrecargas. Estas baterías generan demasiado calor y se recargan lentamente.

- **Batería Ion-litio: (LiCoO₂):** Baterías de reciente creación formada por un electrolito de sal de litio y electrodos de litio, cobalto y óxido. El uso de nuevos materiales como el litio ha permitido conseguir altas energías específicas, alta eficiencia, la eliminación del efecto memoria, ausencia de mantenimiento y facilidad a la hora de reciclar los desechos de Ion-litio. Disponen del doble de densidad energética que las baterías níquel-cadmio con un tamaño del orden de un tercio más pequeñas. Pero también tienen desventajas, el principal es su alto costo de producción, aunque poco a poco este se va reduciendo, son frágiles, pueden explotar por el sobrecalentamiento y deben ser almacenadas con mucho cuidado, tanto por necesitar un ambiente frío como porque debe estar parcialmente cargada. Aun así, las baterías de Ion-litio representan hoy en día la mejor elección para montar en un VE. Al no ser una tecnología totalmente madura, y encontrarse en continuo desarrollo, los avances las hacen tener un gran margen de mejora.
- **Batería LiFePO₄:** Este tipo de batería Ion-litio es parecida a la anterior, con la diferencia de que no usa el cobalto, por lo que tiene una mayor estabilidad y seguridad de uso. Otras ventajas son un ciclo de vida más largo y una mayor potencia. Como inconvenientes a destacar su menor densidad energética y su alto costo.
- **Batería Polímero de litio:** Otra variación de las Ion-litio que cuenta con algunas mejoras como una densidad energética mayor y una potencia más elevada. Son ligeras, eficientes y no tienen efecto memoria. En cambio, su alto costo y bajo ciclo de vida hacen de estas baterías, con aspecto «blando» debido a sus componentes litio y polímero, una opción no muy extendida en la actualidad.
- **Batería ZEBRA:** Estas baterías, también llamadas de sal fundida, trabajan a 250°C y tienen como electrolito cloro aluminato de sodio triturado. Es una batería compleja, de mayor contenido químico, pero que consigue unas características de energía y potencia interesantes. En desuso, el electrolito se solidifica, por lo que necesita un tiempo de fundición que puede llegar a ser de dos días para que alcance la temperatura óptima y ofrezca plenamente su carga. Tienen el mejor ciclo de vida de todas las baterías, pero requieren ocupar mucho espacio y su potencia es baja.
- **Batería de Aluminio-aire:** Consideradas «pilas de combustible» por la necesidad de sustituir los electrodos de metal gastados por unos nuevos. Con una capacidad de almacenamiento de hasta diez veces más que las de tipo Ion-litio y una densidad energética fuera del alcance del resto, este tipo de batería no ha tenido una buena aceptación comercial debido a sus problemas de recarga y de fiabilidad. Se encuentran en fase experimental.
- **Batería Zinc-Aire:** Desarrolladas por una compañía suiza, y en fase experimental, pero más avanzada que las de Aluminio-Aire, estas baterías necesitan obtener el oxígeno de la atmosfera para generar una corriente. Tiene un alto potencial energético, fiabilidad y son capaces de almacenar el triple de energía que las de Ion-litio en el mismo volumen y con

la mitad del costo. Según algunos expertos, el zinc se posiciona como el combustible eléctrico del futuro.

1.2.2. Parámetros de las Baterías

Los principales parámetros que se deben tener en cuenta en una batería destinada al vehículo eléctrico son:

- Densidad energética: Expresada en Wh/kg. Es la energía que puede suministrar la batería por cada kg. Cuanto mayor sea más autonomía tendrá el vehículo o menor será el peso de este.
- Potencia: Expresada en W/kg. Es la capacidad de proporcionar potencia (amperaje máximo) en el proceso de descarga. A más potencia mejores prestaciones para el vehículo eléctrico.
- Eficiencia: Es el rendimiento de la batería, la energía que realmente aprovecha. Medido en %.
- Costo: Es la mayor influencia en el precio total del vehículo.
- Ciclo de vida: Ciclos completos de carga y descarga que soporta la batería antes de ser sustituida. Cuantos más ciclos mejor, ya que será más duradera.

Existen distintos tipos de baterías estos no dan una amplia oferta a la cual elegir, dependiendo de sus ventajas y desventajas. No obstante, la principal batería que se le dará énfasis es la batería de litio, la cual se utiliza en los buses eléctricos del transporte público de Chile.

1.3. Infraestructura de Carga

Una infraestructura de recarga para VE está conformada por estaciones o puntos de recarga, sistemas de control, canalizaciones eléctricas, cuadros eléctricos de mando y protección, equipos de medida, siempre que estos elementos estén destinados únicamente a la recarga de los VE. Esta infraestructura debe ofrecer el servicio de recarga con total seguridad, ya sea recargas totales o parciales [1].

Para implementar infraestructuras de carga, se deben seguir ciertos pasos [3]:

1. Planificación y diseño: Identificar las ubicaciones adecuadas para la instalación de los puntos de carga, considerando la demanda de vehículos eléctricos y la disponibilidad de conexión eléctrica.
2. Obtención de permisos y licencias: Cumplir con los requisitos legales y obtener los permisos necesarios de las autoridades locales y otros organismos pertinentes.
3. Instalación de la infraestructura: Realizar la instalación física de los puntos de carga, incluyendo la infraestructura eléctrica necesaria y los equipos de carga propiamente dichos.
4. Conexión a la red eléctrica: Establecer la conexión eléctrica adecuada para suministrar energía a los puntos de carga. Esto puede implicar coordinación con la compañía eléctrica local y la implementación de sistemas de medición y control.

5. Mantenimiento y operación: Realizar el mantenimiento regular de las infraestructuras de carga para garantizar su correcto funcionamiento y brindar soporte técnico en caso de problemas.

Es importante destacar que la implementación de infraestructuras de carga es un proceso que requiere colaboración entre diferentes actores, incluyendo gobiernos, empresas de energía, proveedores de servicios de carga y fabricantes de vehículos eléctricos. También es esencial considerar aspectos como la capacidad de carga, la interoperabilidad de los sistemas y la escalabilidad de la infraestructura para satisfacer las necesidades futuras a medida que aumenta la adopción de vehículos eléctricos.

Los cargadores eléctricos son los equipos que permiten recargar o almacenar energía en las baterías de los vehículos eléctricos e híbridos enchufables para permitir el posterior uso de ella. Los vehículos eléctricos se pueden cargar con distintos tipos de tecnologías de cargadores, ya sean en corriente alterna (AC) o corriente continua (DC). A continuación, se presentan los principales cargadores para buses eléctricos [3].

1.3.1. Cargador Tipo Plug-in

El cargador tipo plug-in sigue siendo por lejos el cargador más popular y utilizado por los buses eléctricos en la actualidad. La mayor autonomía que presentan las baterías actuales y la poca accesibilidad a otros tipos de cargadores por parte de los operadores ayuda a la proliferación de esta tecnología.

Uno de los grandes avances que ha tenido la tecnología tipo plug-in es su estandarización hacia modelos compatibles con distintos modelos de fabricantes. En el inicio de su desarrollo, cada fabricante de cada país adoptaba una configuración del plug-in según los estándares que lo regían. El sistema de plug-in de carga rápida es el gran avance de la tecnología, la cual permite cargar el 80% de una batería en tan sólo 30 minutos, acortando los tiempos de 5[h] y 2[h] de sus predecesores.

La mayor ventaja de los sistemas plug-in es su utilización sencilla en los terminales de los buses. A diferencia de los cargadores tipo pantógrafo o por inducción, no requieren de espacio en la vía pública (en este caso paraderos) y su instalación no exige una gran obra civil. Los requerimientos de potencias dependerán de cuántos cargadores se instalen en un determinado terminal. El mercado ofrece cargadores tipo plug-in de 40 (kW), 80 (kW) a 150-200 (kW).

1.3.2. Cargador Tipo Pantógrafo

Este tipo de cargador aún no tiene presencia masiva para el uso de buses eléctricos. Si bien se ofreció como una tecnología que permite gestionar la autonomía operacional de un bus con menor cantidad de baterías, lo que implica que es un bus con menor costo de inversión y más liviano, la velocidad con que se está avanzando en el desarrollo de baterías más eficientes, de menor peso y costo, ha implicado que los pantógrafos no sean la opción preferida. En general, la obra civil – eléctrica es más compleja, ya que requieren una cantidad de espacio en la vía

pública para ser instalados, lo cual trae otros inconvenientes asociados a permisos, seguridad y aceptación de la sociedad.

1.3.3. Cargador por Inducción

Bajo el nombre de *Online Electric Vehicle* (OLEV) consiste en un vehículo eléctrico que se carga inalámbricamente mientras se mueve utilizando inducción electromagnética. Funciona utilizando una carretera segmentada de recarga que induce corriente en los módulos pick-up del vehículo. Esto elimina la necesidad de detener el bus en una estación de carga y no necesita de pantógrafo. El OLEV recibe la energía inalámbricamente a través de la aplicación de la tecnología "Campo magnético en forma de resonancia".

De estos 3 tipos de cargadores, el más utilizado en Chile es el Plug-in, lo que influye en la selección del tipo de infraestructura de carga a la cual se opta al momento de elegir un sistema de carga. No obstante, las demás opciones se les debe realizar un análisis más exhaustivo para determinar la factibilidad de implementarlos.

1.4. Clasificación de los Puntos de Carga

Se puede clasificar los puntos de carga de los VE considerando 3 factores, estos son los Niveles de Recarga, Modos de Carga y Tipos de Conectores [3].

1.4.1. Niveles de Recarga

De acuerdo con el nivel de potencia disponible, se define el tiempo de recarga de las baterías. Esta clasificación da origen a 3 niveles de carga.

- Convencional o Lenta: Es la recarga más sencilla para los VE, consiste básicamente en conectar el VE a un tomacorriente “domestico” de Tipo Schuko, donde se realiza la recarga en corriente alterna monofásica con una potencia máxima de 3.7kW, este tipo de recarga es muy accesible para la mayoría de personas por la simplicidad de su uso, como desventajas se puede mencionar que el tiempo de recarga es lenta y varía dependiendo de la capacidad de la batería que tenga incorporado el VE, para autos estando en el rango de 5-8 horas. También puede recargarse en corriente alterna trifásica pudiendo llegar hasta los 11kW de potencia reduciendo considerablemente los tiempos de recarga.
- Semi-rápida: Esta recarga está destinada tanto a zonas públicas, como puntos de recarga en la vía pública y zonas privadas como en el estacionamiento de vehículos, de igual manera con centro comerciales, cines, entre otros, la idea de este tipo de recarga es aprovechar el tiempo en el que el VE está estacionado para realizar la recarga. Para este caso la recarga en corriente alterna monofásica permite potencias de 8 kW a 14 kW y en corriente alterna trifásica permite potencias de 22 kW a 43 kW, teniendo tiempos de recarga más reducidos

- Rápida: Este tipo de recarga se orienta a las estaciones de servicio, las cuales ofertan la recarga de los VE, también son conocidas como electrolíneas. Se caracterizan por tener potencias altas para las recargas de los VE, llegando en corriente continua hasta 240 kW que permite una recarga al 80% (tiempo eficiente de recarga) en intervalos de 5 a 30 minutos en autos, se logra mayores potencias de recarga en corriente continua debido a que no utiliza el cargador interno del vehículo, en cambio alimenta directamente a la batería, por tal motivo es que se reducen significativamente los tiempos de recarga, cabe señalar que no todos los VE son compatibles con este tipo de recarga y con el avance de la tecnología en la Electromovilidad se consiguen reducir cada vez más los tiempos de recarga.

1.4.2. Modos de Carga

La carga de un vehículo eléctrico puede hacerse según cuatro modos distintos de carga según lo estipula la norma internacional IEC 61851-1 [3].

Modo1 Enchufe no Dedicado:

- No cuenta con conector específico para el VE.
- Es un tipo de recarga lenta realizada en AC.
- La corriente máxima es de 16A por fase (3.7kW-11kW).
- La tensión no debe superar los 250 V en AC monofásica o 480 V en AC trifásica.
- Se requiere que la instalación cuente con protección diferencial y termomagnéticas.
- La conexión se debe realizar mediante tomacorrientes normados, como el tipo Schuko.

Modo 2 Enchufe no Dedicado con protección y control incorporada en el cable:

- No cuenta con conector específico para el VE.
- Es un tipo de recarga lenta.
- La corriente máxima es de 32 A por fase (7.4kW-22kW).
- La tensión no debe ser superior a 250 V en AC monofásica o 480 V en AC trifásica.
- Se requiere que protección diferencias y termomagnéticas en la instalación, además de ello un cable especial con un dispositivo electrónico con función de control piloto (cualquier medio, ya sea electrónico o mecánico, que asegure que se satisfacen las condiciones relacionadas con la seguridad y con la transmisión de datos requeridos según el modelo de recarga utilizado).
- La conexión se debe realizar mediante tomacorrientes normados, como el tipo Schuko.

Modo 3 Enchufe Dedicado:

- Cuenta con un conector específico para el VE usando un SAVE (Sistema de Alimentación específico del Vehículo Eléctrico).
- Es un tipo de recarga lenta en AC monofásica o recarga semi-rápida en AC trifásica.
- El SAVE tiene el fin de suministrar energía eléctrica para realizar la recarga del VE, compuesto por un conjunto de equipos como las protecciones de la estación de recarga, cables de conexión y la base del tomacorriente o conector.
- La corriente máxima depende del conector utilizado, con un máximo de 64 A por fase (14.8-44kW), siendo comúnmente 16 A o 32 A.
- La tensión no debe ser superior a 250 V en AC monofásica o 480 V en AC trifásica.
- Es el modo idóneo para los entornos industriales y aparcamientos de flotas comerciales.
- La tecnología que se suele emplear permite tener un mayor control de la recarga de los vehículos, con iniciativas que permiten la recarga inteligente apoyando la promoción de la Smart Grids.

Modo 4 Cargador Externo:

- Cuenta con un conector específico para el VE usando SAVE en el cual se incorpora una estación de recarga la cual convierte la AC en DC para otorgar mayores potencias para su recarga.
- Es un tipo de recarga Rápida en DC.
- La corriente máxima depende de la estación de recarga utilizada, utilizándose normalmente para recargas a partir de 50 kW.
- La infraestructura de carga debe tener las protecciones necesarias para ser instaladas.
- La norma UNE-EN 67857-7 señala que para los distintos modos de recarga del VE se debe requerir de un dispositivo de corriente residual DCR (diferencial) con características mínimamente equivalentes al tipo A.

1.4.3. Tipos de Conectores

Actualmente existen variados tipos de conectores para vehículos eléctricos. A continuación, se mencionan los más utilizados. [1]

- 3 PIN.
- SAE J1772.
- IEC 62196 Tipo 1 y Tipo 2.
- COMMANDO.
- CHAdeMO.
- Combinado o Combo Tipo 1 y Tipo 2.
- Tesla.
- GB/T.

Existen varios tipos de conectores, pero para fomentar la adopción masiva de vehículos eléctricos, es importante garantizar la interoperabilidad de las infraestructuras de carga. Esto implica que los vehículos eléctricos puedan cargar en diferentes puntos de carga independientemente del fabricante o el modelo del vehículo. Los estándares y protocolos de carga, como el CCS (Combined Charging System) y el CHAdeMO, permiten la interoperabilidad y facilitan la carga en diferentes lugares [2].

1.5. Situación Nacional de Electromovilidad en Chile

La situación nacional de la electromovilidad en Chile ha experimentado un crecimiento notorio en los últimos años, reflejando un avance significativo en la adopción de vehículos eléctricos tanto en el sector privado como en el transporte público. Chile ha reconocido la importancia de la electromovilidad como una solución sostenible y limpia para abordar los desafíos ambientales y energéticos que enfrenta el país.

En cuanto al sector privado, se ha observado un incremento considerable en el número de vehículos eléctricos circulando en las calles chilenas. La Asociación Nacional Automotriz de Chile (ANAC), indico en su último informe de mercado que en el año 2023 se comercializaran alrededor de 7.740 unidades, que representaría el 2.3% de las ventas totales estimadas [18] [23]. Este crecimiento se ha visto impulsado por una combinación de factores, incluyendo los incentivos gubernamentales y programas de apoyo que promueven la adquisición de vehículos eléctricos, así como una creciente conciencia sobre los beneficios ambientales y económicos que ofrecen.

En términos de infraestructura de carga, Chile ha realizado esfuerzos significativos para ampliar la red de puntos de carga eléctrica. Se han instalado estaciones de carga rápida y semi-rápida en áreas urbanas y a lo largo de las carreteras principales, lo que ha contribuido a reducir la preocupación por la autonomía de los vehículos eléctricos y a brindar una mayor comodidad a los conductores.

El transporte público ha sido un componente fundamental en la estrategia de electromovilidad en Chile. Se han implementado proyectos piloto y programas de prueba con buses eléctricos en distintas ciudades del país, destacando la Región Metropolitana de Santiago. Estas iniciativas han demostrado la viabilidad y eficiencia de los buses eléctricos en la operación diaria, proporcionando información valiosa para la expansión gradual de la flota eléctrica en el transporte público. La adopción de buses eléctricos en el transporte público no solo contribuye a la reducción de emisiones y la mejora de la calidad del aire, sino que también brinda a los pasajeros una experiencia de viaje más silenciosa y cómoda.

El compromiso gubernamental en promover la electromovilidad ha sido evidente en Chile. A través de la implementación de políticas, metas y programas de fomento, el gobierno ha establecido un marco favorable para la adopción de vehículos eléctricos y la expansión de la infraestructura de carga. Además, se han fijado metas ambiciosas a largo plazo, como alcanzar el 40% de vehículos particulares y el 100% del transporte público urbano eléctricos para el año 2050.

Respecto al estado actual de la movilidad eléctrica en el transporte público en la Región Metropolitana de Chile se puede presentar un análisis general de este panorama:

Flota de buses eléctricos: Se ha observado un aumento significativo en la incorporación de buses eléctricos en la flota de transporte público de la Región Metropolitana. Empresas de transporte y autoridades locales han implementado programas piloto y licitaciones para la adquisición de estos vehículos, con el objetivo de reducir las emisiones y mejorar la calidad del aire.

Infraestructura de carga: Se ha trabajado en el despliegue de una red de infraestructura de carga para buses eléctricos en la Región Metropolitana. Se han instalado puntos de carga en terminales de buses y estaciones estratégicas, lo que permite la recarga de los vehículos durante sus rutas y en momentos de descanso. Esta infraestructura es fundamental para garantizar la operatividad de los buses eléctricos.

Beneficios ambientales y económicos: La movilidad eléctrica en el transporte público ha demostrado ser una opción favorable en términos ambientales y económicos. La reducción de emisiones de gases contaminantes contribuye a mejorar la calidad del aire y disminuir el impacto ambiental. Además, los vehículos eléctricos tienen costos operativos más bajos en comparación con los vehículos de combustión interna, ya que requieren menos mantenimiento y tienen un menor consumo de energía.

Desafíos y oportunidades: A pesar de los avances, aún existen desafíos en la implementación masiva de la movilidad eléctrica en el transporte público. Algunos de estos desafíos incluyen la necesidad de expandir la infraestructura de carga, garantizar la disponibilidad de energía eléctrica confiable, y gestionar de manera eficiente la operación y mantenimiento de los vehículos eléctricos. Sin embargo, estos desafíos también representan oportunidades para el desarrollo de nuevos modelos de negocio y tecnologías innovadoras en el sector.

En general, la movilidad eléctrica en el transporte público de la Región Metropolitana de Chile se encuentra en una etapa de crecimiento y consolidación. Los esfuerzos realizados por empresas, autoridades y organismos gubernamentales reflejan el compromiso con la reducción de emisiones y la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos. Es importante seguir impulsando medidas y políticas que fomenten la adopción de vehículos eléctricos y el desarrollo de una infraestructura de carga adecuada para garantizar el éxito de la movilidad eléctrica en el transporte público.

1.5.1. Buses Eléctricos

Los buses eléctricos son una alternativa sostenible y eficiente en el transporte público, con numerosos beneficios y características que los hacen atractivos tanto para operadores como para pasajeros. A continuación, se destacan algunos puntos clave sobre los buses eléctricos [22]:

Cero emisiones: Una de las principales ventajas de los buses eléctricos es su capacidad para operar sin emisiones locales. Al utilizar motores eléctricos en lugar de motores de combustión

interna, no emiten gases de escape nocivos, lo que contribuye a mejorar la calidad del aire y reducir la contaminación en áreas urbanas.

Eficiencia energética: Los buses eléctricos son más eficientes en términos de energía en comparación con los buses diésel o a gasolina. Los motores eléctricos tienen una mayor eficiencia energética y requieren menos energía para operar la misma distancia. Además, la recuperación de energía cinética durante el frenado regenerativo ayuda a optimizar el consumo de energía [3][26].

Menor ruido y vibraciones: los buses eléctricos tienen un nivel de ruido y vibraciones menor que los buses de combustión interna, ya que el motor eléctrico es más silencioso y suave que el motor de explosión. Esto mejora la comodidad y el bienestar de los pasajeros y los vecinos, así como reduce el estrés y la fatiga de los conductores. Además, el menor ruido facilita la comunicación dentro y fuera del vehículo [26].

Costo de operación y mantenimiento: los buses eléctricos tienen un costo de operación y mantenimiento menor que los buses de combustión interna, ya que consumen menos energía, tienen menos componentes y una mayor vida útil. El costo de operación incluye el costo de la electricidad, que puede ser más barata que el combustible fósil, y el costo de la infraestructura de carga, que puede ser amortizado a largo plazo. El costo de mantenimiento incluye el costo de las revisiones, las reparaciones y el reemplazo de la batería, que puede tener una duración de entre 5 y 10 años [26].

Autonomía y capacidad de carga: La autonomía de los buses eléctricos ha mejorado significativamente en los últimos años, lo que permite cubrir distancias más largas sin necesidad de recargas frecuentes. Además, los avances en la tecnología de las baterías han permitido aumentar la capacidad de carga de los buses eléctricos, lo que los hace viables para el transporte de pasajeros en rutas de alta demanda [3][26].

Infraestructura de carga: La implementación de buses eléctricos requiere una infraestructura de carga adecuada. Es necesario contar con estaciones de carga en los terminales de autobuses y, en algunos casos, en paradas estratégicas a lo largo de las rutas. La infraestructura de carga debe ser eficiente, segura y capaz de satisfacer la demanda de carga de los buses eléctricos.

En resumen, los buses eléctricos ofrecen una solución sostenible y eficiente para el transporte público, con beneficios como cero emisiones, mayor eficiencia energética, menor ruido y vibraciones, y menores costos de operación y mantenimiento. Con la mejora continua de la tecnología y la infraestructura de carga, se espera que la adopción de buses eléctricos en el transporte público continúe aumentando en todo el mundo.

El bus eléctrico consta de varias partes fundamentales, cada una con un rol específico en su funcionamiento [20]:

Batería: La batería es un dispositivo electroquímico que almacena energía en forma de energía química y la convierte en energía eléctrica para alimentar el motor eléctrico del bus. Está compuesta por celdas que contienen electrodos positivos y negativos, así como un

electrolito que permite la conducción iónica entre los electrodos. La batería determina la potencia del motor, la autonomía del vehículo y su diseño, y su ubicación en el bus debe ser cuidadosamente seleccionada teniendo en cuenta el volumen y la temperatura adecuada para su funcionamiento óptimo.

Motor eléctrico: El motor eléctrico es el componente encargado de convertir la energía eléctrica de la batería en energía mecánica para la tracción del bus. Dependiendo del diseño del bus y los requisitos de rendimiento, puede haber uno o varios motores eléctricos. Estos motores pueden ser de corriente continua (DC) o de corriente alterna (AC), y deben cumplir con requisitos específicos de relación par/inercia, torque de arranque, potencia en carretera y aceleración para garantizar un rendimiento eficiente del bus.

Controlador: El controlador es la unidad central electrónica que gestiona y coordina el funcionamiento de todos los componentes del sistema eléctrico del bus. Regula la energía que fluye entre el motor y la batería, controla el estado de carga de la batería y monitorea la eficiencia y seguridad del sistema. Además, el Sistema de Gestión de Batería (BMS) forma parte del controlador y se encarga de funciones vitales como la monitorización de temperatura, voltaje y corriente de la batería, optimización del rendimiento, predicción y prevención de fallas, y recolección de datos para su análisis.

Inversor: El inversor es el componente responsable de convertir la energía de la batería en la forma necesaria para alimentar el motor eléctrico. Realiza las conversiones necesarias para suministrar la energía requerida al motor, asegurando que funcione a las revoluciones adecuadas. También cumple la función de transferir la energía generada por el motor durante la frenada regenerativa y devolverla a la batería para su posterior uso.

Transformador: El transformador se encarga de recibir la energía de la red eléctrica y transformarla a los niveles de tensión y corriente adecuados para cargar la batería. También se encarga de la refrigeración para prevenir riesgos de explosión o derrames.

Sistemas auxiliares: Los sistemas auxiliares del bus eléctrico incluyen elementos como el aire acondicionado, calefacción, dirección asistida, bombas de vacío y bombas de agua, entre otros. Estos sistemas cumplen funciones adicionales y son alimentados por energía suministrada por la batería.

Para tener una idea de la cantidad de buses eléctricos que hay en Chile, según datos obtenidos de E-BUS RADAR [4], en Latinoamérica existe un total de buses eléctricos de 4150 con datos de hasta mayo del 2023, de estos, los que corresponden a Chile son 1223 buses eléctricos (Figura 1). De estos el 51% corresponde al fabricante Foton, 36% a BYD, 9% a Yutong y el 4 % a otras marcas.

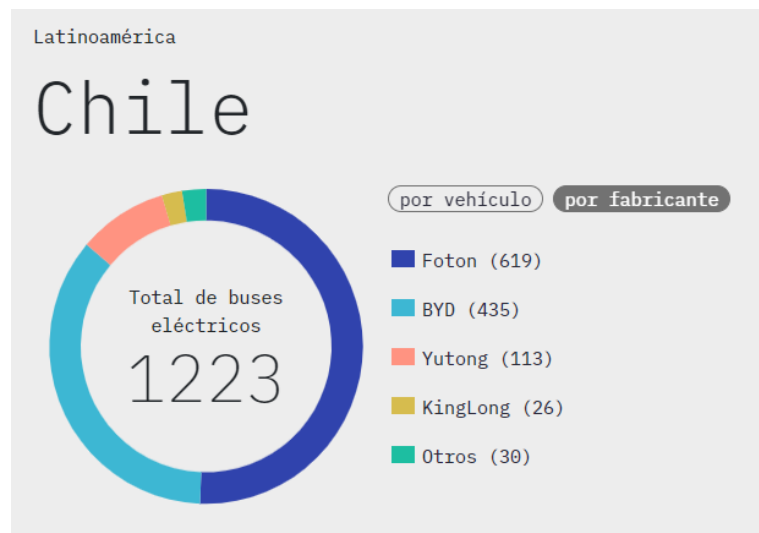


Figura 1: Buses eléctricos en Chile por fabricante [4].

De estas marcas a continuación se presentan los distintos modelos de los buses eléctricos presentes en Chile con una tabla extraída (Tabla 1) de la plataforma de electromovilidad del Ministerio de Energía [3]. En donde el modelo con la mayor autonomía corresponde a la marca Zhongtong.

Bus			Capacidad Baterías [kWh]	Capacidad Pasajeros	Consumo [kWh/km]	Autonomía [km]
Clase	Marca	Modelo				
B2	BYD	K9 FE	276,5	81	1,57	176,1
B2	YUTONG	ZK6128BEVG	324,4	87	1,48	219,7
B2	FOTON	eBus U12 QC	151,55	90	1,67	90,9
A1	BYD	K7	156,6	45	1,13	138,6
A1	FOTON	eBus U8,5 QC	129	47	1,24	104,0
B2	ZHONGTONG	LCK6122EVG	351,237	88	1,58	222,3
B2	KING LONG	XMQ 6127G PLUS	374,65	90	1,74	215,0

Figura 2: Distintos modelos presentes en Chile y sus características [3].

A continuación, se muestra información técnica sobre el bus eléctrico FOTON modelo ebus U12 QC.

Tabla 1: Ficha Técnica de Andes Motor, FOTON e-BUS U12 [33].

INFORMACIÓN TÉCNICA	e.BUS U12
DIMENSIONES	
Largo–Ancho–Alto	12.000 - 2.550 - 3.350 mm
Distancia entre ejes	5.900 mm
Máximo gradiente	20%

Altura interior	2.450 mm
MOTOR	
Marca	Foton by Prestolite
Modelo	TZ488XSPE351WH
Tipo de combustible / energía	Eléctrico
Potencia máxima	350 kW
Relación potencia / peso del bus	17,9 kW/ton
Torque máximo	3500 Nm
Capacidad de pack de baterías/Nº de ciclos (kWh)	Capacidad de la batería 385.08kWh, 12 pack, 4000 ciclos aprox., depende de la estrategia de carga
Tipo puerto comunicación On Board Diagnostics	OBD II
TRANSMISIÓN	
Relaciones de transmisión (1/ 2/.../ Final)	6.14:1
EJES	
Descripción y marca eje delantero	Marca ZF, Modelo, RL 82 A, Tipo: Rígido
Descripción y marca eje trasero (2º y 3º eje si corresponde)	Marca ZF, Modelo, AV 132 II, Tipo: Low floor
Capacidad de carga eje delantero	8.200 Kg
Capacidad de carga eje trasero	13.000 Kg
Distancia entre ejes	5.900 mm
DIRECCIÓN	
Tipo y descripción de sistema de dirección	Marca Bosch, sistema integral caja de dirección accionada por motor eléctrico
Radio de giro (mm)	12.000
NEUMÁTICOS	
Tipo y medida de los neumáticos	Radial Pirelli, Medida 295/80R22.5
SUSPENSIÓN	
Descripción de suspensión eje delantero	Marca ZF, Tipo Neumática con Sistema Kneeling
Altura de los ejes respecto al piso	140 mm
FRENOS	
Freno de servicio eje delantero	Freno de Disco / Marca ZF
Freno de servicio eje trasero	Freno de Disco / Marca ZF
Freno de estacionamiento	Freno neumático actúa sobre las ruedas posteriores
Freno motor	N/A
Sistemas de frenado	ABS, EBS
CARROCERÍA	
Largo del voladizo delantero	2.670 mm
Largo del voladizo trasero	3.430 mm
Tipo de piso	low floor
Capacidad de transporte	90
Número de asientos	28 asientos + 6 asientos abatibles + 1 conductor
Descripción de sistema de climatización	Marca Valeo (Spheros) Capacidad de 33kw, sin calefacción

Marca, cantidad y tipo de puertas de servicio (cantidad de hojas y tipo de apertura)	FOTON, 2 Puertas. Puerta delantera 2 hoja apertura envolvente. Puerta trasera 2 hojas apertura envolvente.
Dimensiones de puertas (mm)	Frontal: Alto 1.960 / Ancho 1.280 - Trasera: Alto 1.960 / Ancho 1.380
Dimensiones de los marcos de puertas (mm)	Frontal: Alto 2.120 / Ancho 1.350 - Trasera: Alto 2.140 / Ancho 1.450
Descripción de sistema de accionamiento de las puertas	Accionamiento neumático con comando en cabina de conductor y aperturas de emergencia interiores y exterior
Descripción de sistema de accionamiento de emergencia para las puertas.	Pueden funcionar sin energía, a través de un comando exterior e interior, en donde se libera la presión del sistema permitiendo su apertura, adicional cuenta con sistema de anti-atrapamiento el cual al detectar un objeto estas se liberan automáticamente y permiten al conductor Volver a cerrar a través de su funcionamiento normal
OTROS	
Peso bruto vehicular	19.500 Kg
Peso en vacío	13.085 Kg
Descripción general de sistema de cargadores USB (características, cantidad y ubicación)	Lado izquierdo 14, lado derecho 16. Ubicados en las paredes al costado de los asientos, 5 volt y 2 amp
Descripción del equipamiento para Wi-Fi a bordo	Equipado con Router, soporta tecnología 4G, permite la conexión simultánea de 100 personas
Marca y descripción del sistema de detección de proximidad de peatones y objetos.	Marca Mobileye, Modelo 8, permite a través de sensores alertar a través de un sonido y visor cuando un peatón se encuentra cerca del bus, la distancia de detección es programable.
Marca y descripción megafonía	Marca Foton, cuenta con 1 micrófono y 2 parlantes.
Marca y modelo cámaras de seguridad.	Marca FOTON, Modelo iFoton intelligent monitoring system, 5 cameras, disco duro de 2 Tb.
Marca y descripción de letreros y paneles de información	Letreros itinerarios Marca Mobitec, los cuales están configurados de acuerdo con el Manual de Normas Gráficas.
SISTEMA DE CARGA	
Rango de potencia del cargador	150 kw
Rango de tiempo de carga	160 min
Estándar de cargador y conector	Estándar de carga tipo DC (charging method under IEC 61851-23-2014 definition) / Conector CCS-Combo2, cantidad 2

1.5.2. Electroterminales

En el sitio web de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) [5], se presenta distinta información sobre la electromovilidad de nuestro país. Con respecto a los Puntos de carga Públicos. En todas las regiones hasta el año 2023 existen 759 puntos de carga, los cuales tienen distintos tipos de conectores y distintos tipos de Potencia de Conector. En la Figura 2 se aprecia de mejor manera cada una de estas características. De estos 759 puntos de carga en la Región Metropolitana (Figura 3) existen 469 puntos de carga y es donde se presenta la mayor concentración de puntos de carga en el país.



Figura 3: Puntos de Carga en todo Chile junto con los distintos tipos y potencias [5].

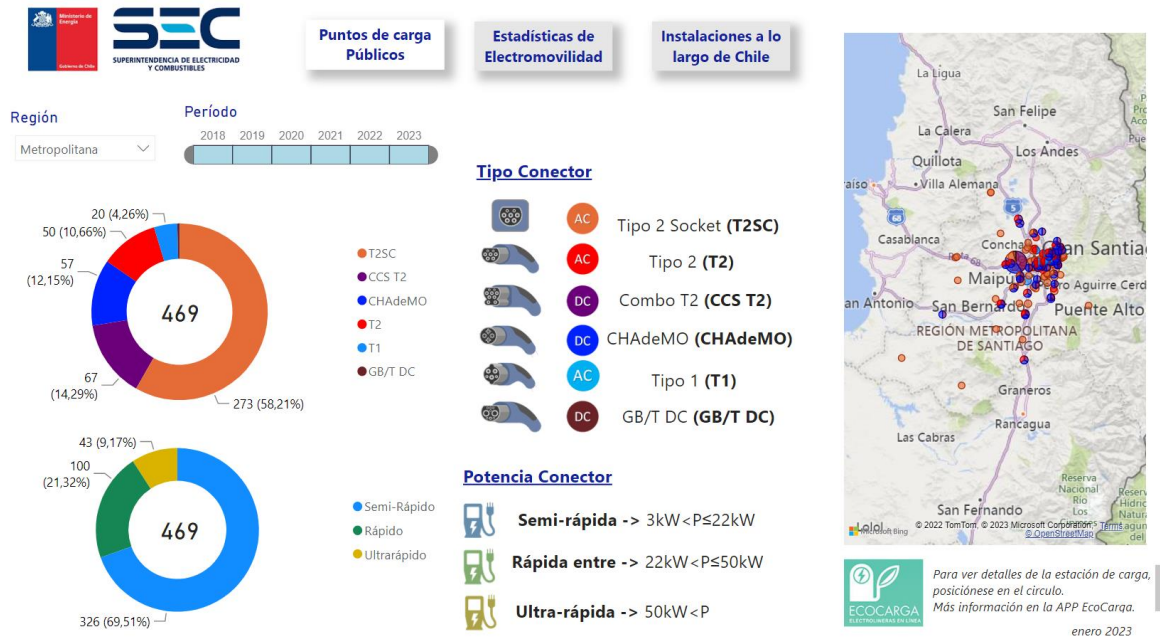


Figura 4: Puntos de Carga en la Región Metropolitana junto con los distintos tipos y potencias [5].

De SEC también podemos obtener las estadísticas de la electromovilidad de los puntos de carga de carga, ya sean públicos, privados, centros de carga para el transporte público o electroterminales (Figura 4). En la Figura 5 se muestra las instalaciones, número de cargadores y los MW instalados en cada año.

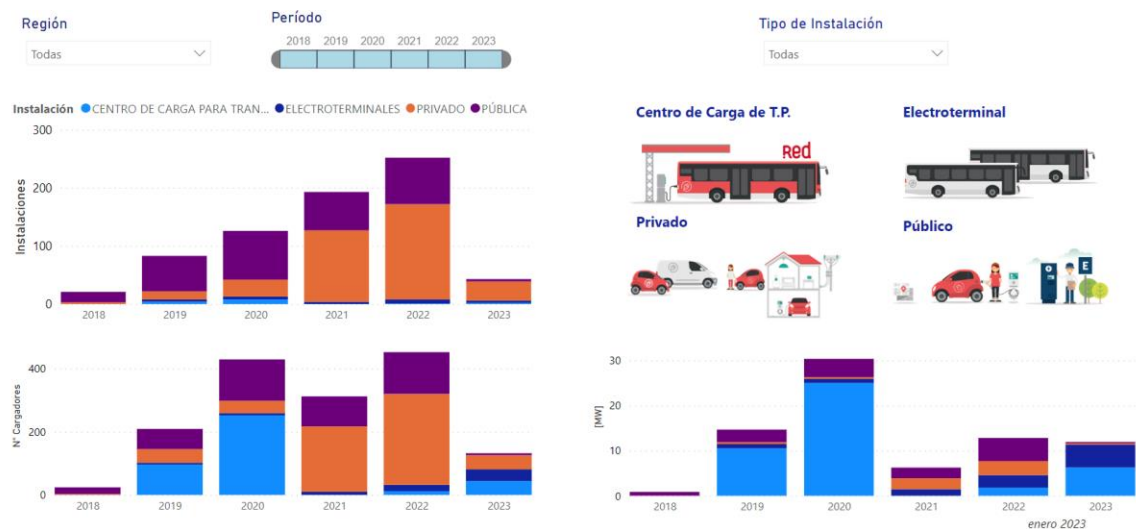


Figura 5: Distintos tipos de Instalaciones para la carga de Vehículos Eléctricos en Chile [5].

De todos los tipos de instalaciones a lo largo de Chile, existen 718 las cuales tienen 1558 cargadores y 2523 conectores con una potencia total instalada de 76.82 MW (Figura 5). Para destacar los medios que tienen los buses para su carga se filtraron los centros de carga del transporte público y los electroterminales. En la Figura 6 se muestran la cantidad de centro de carga para el transporte público, los cuales solo están presentes en la Región

Metropolitana, con un número de 15 instalaciones con una potencia instalada de 43.58 MW. Y para los electroterminales existen 24 en algunas regiones del país con una potencia instalada de 11.15 MW, mientras que 16 de estos electroterminales son los que corresponden a la región metropolitana con una potencia instalada de 6,87 MW esto se ve representado en la Figura 7.

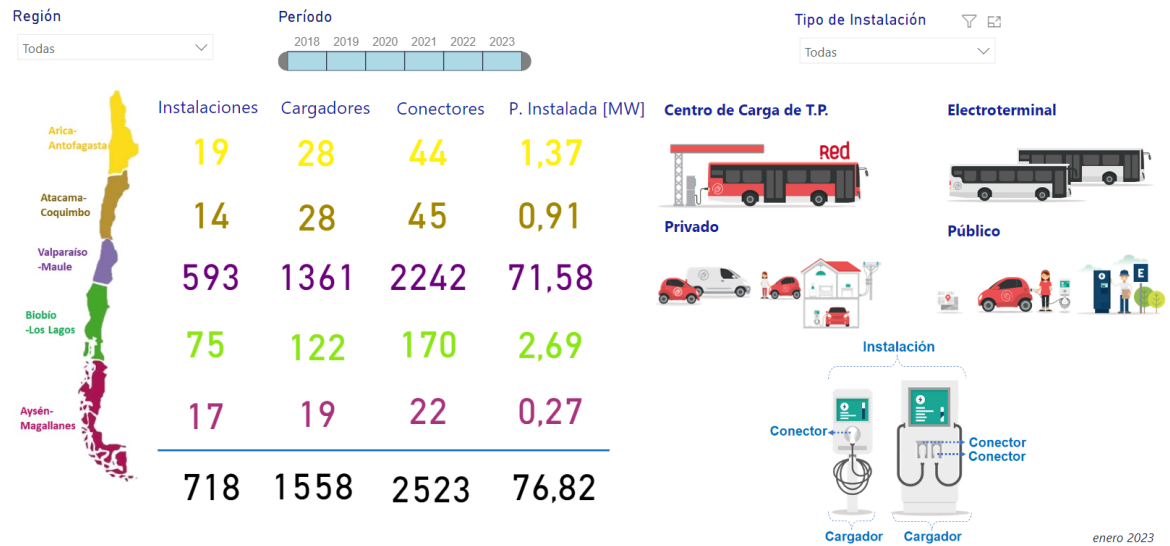


Figura 6: Instalaciones de carga en Chile [5].

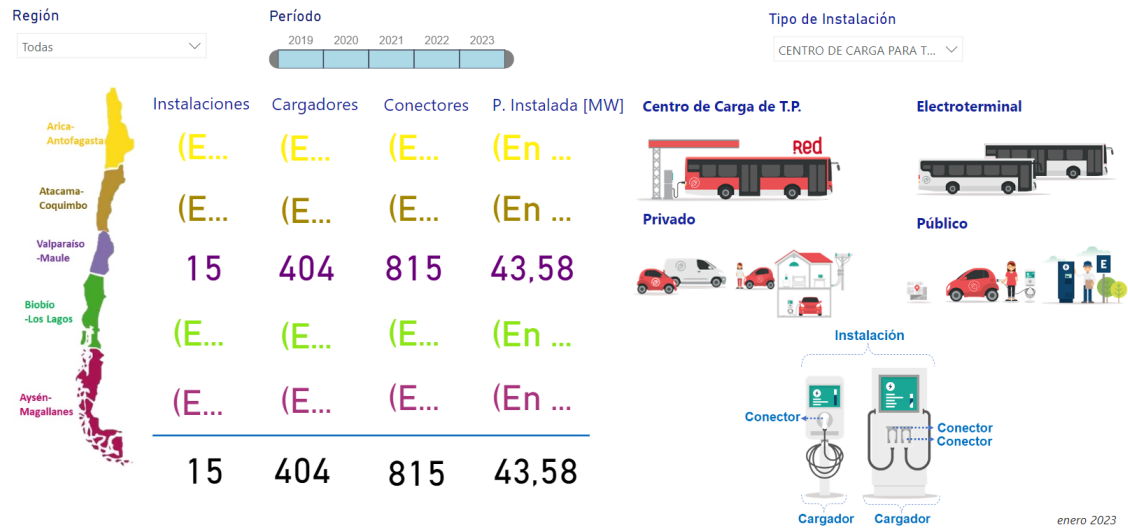


Figura 7: Instalaciones tipo centro de carga para el transporte público [5].

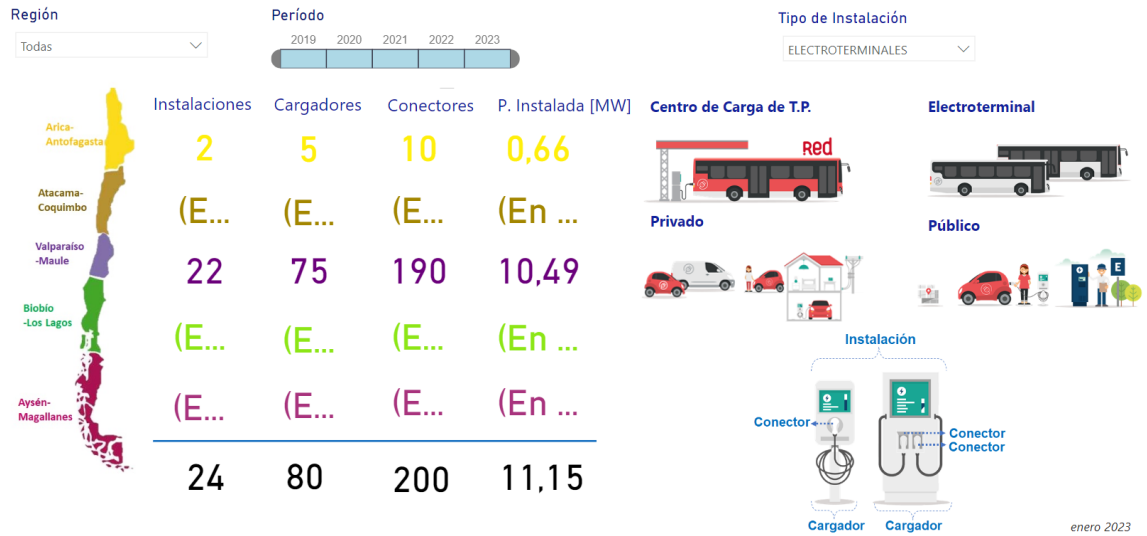


Figura 8: Instalaciones tipo Electroterminales en Chile [5].

En Santiago existe la mayor cantidad de electroterminales del país, de estos se destaca el electroterminal El Conquistador que se ubica en la comuna de Maipú, contando con 15000 metro cuadrados y un sistema de autogeneración de paneles fotovoltaicos, además de tener 57 cargadores y con una potencia instalada de 8,8 MW correspondiente a la mayor potencia entregada en Santiago. En la Figura 8 se muestra un mapa con la ubicación de los electroterminales, la cantidad de Sistemas de Alimentación para Vehículos Eléctricos (SAVE) y su potencia instalada.

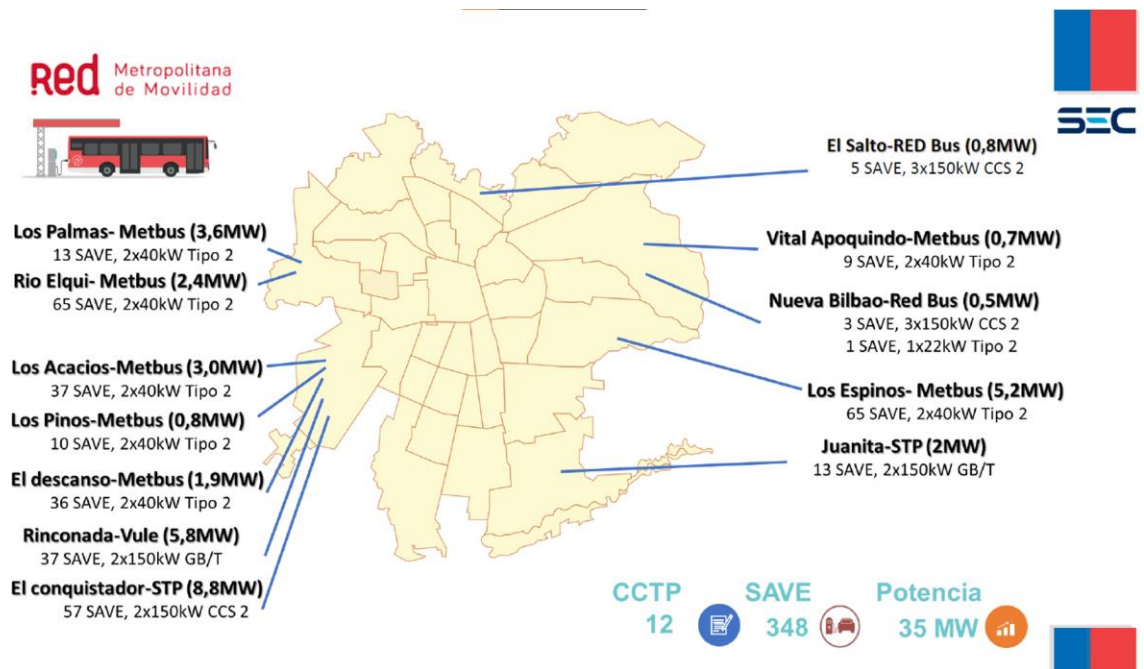


Figura 9: Mapa de Electroterminales en Santiago de Chile [5].

1.5.3. Sistema de Transporte Público de Santiago

El Sistema de Transporte Público de Santiago cuenta con tres modos de transporte: Metro de Santiago que, con sus siete líneas subterráneas y progresivo crecimiento, se erige como pilar estructural de la red; los buses urbanos, que desde múltiples servicios en superficie le dan capilaridad, llegando a todos los rincones de la ciudad; y Tren Central Alameda-Nos, el primer tren suburbano de Chile, que permite extender y complementar el Sistema hacia el sur [24]. Estos tres modos de transporte componen Red Metropolitana de Movilidad, el nombre que desde 2019 define al nuevo modelo de negocio y de operación hacia el que ha ido evolucionando el transporte público de Santiago, y al nuevo estándar de calidad que ofrece.

Dentro de la Red Metropolitana de Movilidad para este trabajo nos importa saber que las operaciones de buses en la región son realizadas por empresas concesionarias que son nombradas unidades de negocio, estas empresas son reguladas por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones [25]. Hasta el 2021 se registró una oferta de transporte de 6895 buses, con un número de servicios de 379 y 357 millones de kilómetros recorridos [24]. A continuación, se presentan las unidades de negocio, considerando que Alsacia fue eliminada y sus servicios fueron reasignados a distintos operadores.

Tabla 2: Empresas concesionarias dentro de la Red Metropolitana de Movilidad, elaboración propia a partir de [24].

Empresa Concesionaria	Unidad de Negocio	Página Web	Color de los Buses	Servicios con itinerario
Subus Chile S.A.	2	https://subus.cl/	Azul-U2	201, 210, 214, 227, 230, 201e, G02, G07, G09, G12, G23.
Buses Vule S.A.	3	https://busesvule.cl/	Verde-U3	113, 119, 301, 303, 307, 314, 321, 322, D13, E05, E06, E12, E15c, E17, H02, H03, H04, H05, H08, H09, H12, H13, H14, I01, I03, I05, I08, I10N, I11, I12, I14N, I16, I18, I21, I22, I24, I25.
Voy Santiago S.P.A.	4	https://www.voysantiago.cl/	Naranja-U4	103, 117, 403, 411, 435, D01, D02, D03, D08, D10, D11, D14, D15, D16, D18.
Buses Metropolitana	5	http://www.metbus.cl/	Turquesa-U5	118, 412, 422, 501, 503, 505, 506, 507, 508, 510, 511, 513, 514, 516, 517, 518, 519, 110c, J02, J04, J05, J06, J07, J07e,

				J10, J11, J12, J16, J17, J18.
Redbus Urbano S.A.	6	https://www.redbusurbano.cl/	Rojo-U6	B01, B02N, B04, B05, B06, B10, B11, B14, B15, B16, B17, B18, B20, B21, B22, B23, B25, B28, B30N, C02c, C05, C06, C08, C12, C13, C17, C18, C19, B03, B07, B31N, C02, C03, C07, C15, C22.
Servicio de Transporte de Personas Santiago S.A.	7	https://www.stpsantiago.cl/	Amarillo-U7	102, 104, 106, 108, 114, 401, 405, 419, 421, 423, 712N, F01, F02, F03, F03c, F07, F10, F11, F12, F15, F16, F18, F19, F20, F24, F25, F29, F30N.

1.5.4. Estrategia Nacional de Electromovilidad

El documento “Estrategia Nacional de Electromovilidad” publicada por el Ministerio de Energía de Chile [17], establece los lineamientos y objetivos del gobierno para promover y desarrollar la electromovilidad en el país. Proporciona una visión integral y metas a largo plazo para la adopción de vehículos eléctricos en diferentes sectores, incluido el transporte público.

La Estrategia Nacional de Electromovilidad aborda aspectos clave como la expansión de la infraestructura de carga, el desarrollo de políticas de incentivos, la promoción de la investigación y el desarrollo de tecnología en el campo de la electromovilidad, la integración de energías renovables en el sistema de carga y la colaboración con diferentes actores, tanto del sector público como privado.

Este documento busca impulsar la movilidad eléctrica como una alternativa sostenible y eficiente en el transporte público y establecer una hoja de ruta clara para su implementación. Proporciona directrices estratégicas para la promoción de la electrificación del transporte en el contexto específico de Chile.

El análisis del sector transporte en Chile realizado en 2017 permitió identificar las oportunidades que presenta la electrificación del transporte. Como resultado, se desarrolló la primera Estrategia Nacional de Electromovilidad, la cual fue creada a través de un proceso participativo que involucró a más de 70 actores del sector público y privado. Esta estrategia estableció un conjunto de acciones a realizarse entre los años 2017 y 2020, distribuidas en cinco ejes estratégicos:

Regulación y estándares: Se propuso trabajar en la elaboración de regulaciones y estándares que fomenten la adopción de vehículos eléctricos en el país. Esto incluye aspectos relacionados con la homologación de vehículos, normas de carga y seguridad, entre otros.

Transporte público como motor de desarrollo: Se reconoció el transporte público como un motor clave para impulsar la electromovilidad. Se propusieron medidas para fomentar la adquisición y operación de buses eléctricos en el transporte público, considerando aspectos como la renovación de flotas, la instalación de infraestructura de carga y la capacitación de conductores y personal de mantenimiento.

Fomento de la investigación y desarrollo de capital humano: Se planteó la necesidad de promover la investigación y desarrollo en el ámbito de la electromovilidad, así como fortalecer las capacidades y el capital humano necesario para impulsar esta industria emergente. Esto incluye la formación de especialistas en vehículos eléctricos, tecnologías de carga y gestión de flotas.

Impulso inicial al desarrollo de la electromovilidad: Se establecieron medidas para incentivar el desarrollo inicial de la electromovilidad en el país. Esto abarcó aspectos como la creación de fondos de financiamiento, la promoción de alianzas público-privadas y la implementación de programas piloto para evaluar la viabilidad y eficacia de los vehículos eléctricos en distintos contextos.

Transferencia de conocimiento y entrega de información: Se reconoció la importancia de difundir el conocimiento y la información relacionada con la electromovilidad. Se propusieron acciones para facilitar el acceso a información actualizada sobre vehículos eléctricos, infraestructura de carga, normativas y políticas relacionadas, con el objetivo de fomentar la adopción y el interés en la electromovilidad.

En línea con estas acciones, se establecieron metas de largo plazo, como alcanzar el 40% de vehículos particulares y el 100% del transporte público urbano eléctricos para el año 2050. Estas metas se complementaron con la Ruta Energética 2018-2022 del Ministerio de Energía, que estableció como objetivo aumentar al menos 10 veces la cantidad de vehículos eléctricos circulando en Chile para el año 2022.

La electromovilidad y las acciones de fomento a la eficiencia energética en el transporte se consideran factores clave para que Chile alcance la neutralidad de carbono para el año 2050, contribuyendo con aproximadamente el 20% de las reducciones de CO₂ necesarias. Por esta razón, la electromovilidad se aborda de manera transversal en la política pública, estableciendo los lineamientos necesarios para alcanzar las metas propuestas. Estas políticas son [17]:

- Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP): Instrumento que define los lineamientos generales de largo plazo que seguirá el país de manera transversal e integrada, considerando un horizonte de 30 años, para hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático; transitar hacia un desarrollo bajo en emisiones de gases de efecto invernadero, hasta alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de los mismos;

reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia a los efectos adversos del cambio climático; y, dar cumplimiento a los compromisos internacionales asumidos por el Estado de Chile en la materia. La ECLP guiará la acción climática del país en el largo plazo, estableciendo metas sectoriales a mediano plazo y presenta las diferentes visiones y objetivos climáticos de largo plazo en torno a los ámbitos de Energía, Transportes, Minería, Silvoagropecuario, Salud, Residuos y Economía Circular, Edificación y Ciudades, Infraestructura, Biodiversidad, Recursos Hídricos, Turismo, Pesca y Acuicultura, Bordo costero y Océano.

- Política Energética Nacional 2050 (PEN): Establece orientaciones y metas para el desarrollo de un sector energético confiable, sostenible, inclusivo y competitivo con miras al año 2050. Como parte de los compromisos de la PEN, se estableció el efectuar una revisión de ésta cada 5 años, de manera de incorporar posibles cambios tecnológicos, eventos externos o el surgimiento de nuevas prioridades para la sociedad que pudiesen modificar el escenario energético proyectado.
- Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (EH2V): Política de largo plazo que establece las ambiciones de nuestro país para crear una nueva industria del hidrógeno verde en beneficio para la nación. Esta Estrategia incorporó diferentes procesos participativos en su construcción, donde expertos de empresas, instituciones públicas, ONGs y ciudadanos pudieron entregar su visión, prioridades y preocupaciones sobre el desarrollo del hidrógeno verde en el país.
- Planificación Energética de Largo Plazo (PELP): Proceso cuyo objetivo es desarrollar proyecciones energéticas de largo plazo, para distintos escenarios energéticos de expansión de la generación eléctrica y de su consumo, en un horizonte de al menos treinta años. Los escenarios energéticos considerados son fundamentales para múltiples funciones siendo la principal la buena planificación de la infraestructura necesaria para alcanzar las metas y compromisos que tenemos en Chile, como la carbono neutralidad y el retiro de las centrales a carbón de la matriz. Además, son importantes para continuar con la integración de energías renovables de forma segura y eficiente, orientar a los diversos sectores del país respecto a las alternativas energéticas más limpias, junto con anticipar situaciones y poder contar con un sistema energético confiable.
- Ley de Eficiencia Energética: La Ley 21.305 en Chile busca ayudar al uso racional y eficiente de los recursos energéticos, para así contribuir a mejorar la productividad y la competitividad económica, además de mejorar la calidad de vida de las personas y reducir las emisiones de contaminantes. En particular, esta ley busca promover la renovación del parque con vehículos más eficientes, con énfasis en aquellos de propulsión eléctrica, a través de estándares de eficiencia energética en vehículos livianos, medianos y pesados. También entrega el mandato de normar la interoperabilidad del sistema de recarga de vehículos eléctricos y establecer un régimen de depreciación acelerada para vehículos eléctricos.
- Plan Nacional de Eficiencia Energética: a Ley 21.305 sobre Eficiencia Energética, establece que el Ministerio de Energía elaborará un Plan Nacional de Eficiencia Energética cada 5 años cuyo objetivo será formalizar nuestra visión como país en materias de eficiencia energética. El plan deberá contemplar, al menos, las siguientes materias: eficiencia energética residencial, estándares mínimos y etiquetado de

artefactos, eficiencia energética en la edificación y el transporte, eficiencia energética y ciudades inteligentes, eficiencia energética en los sectores productivos y educación y capacitación en eficiencia energética.

La electromovilidad es una oportunidad para Chile, tanto desde el punto de vista ambiental como económico y social, y que se requiere de una acción coordinada y participativa entre los distintos actores involucrados para lograr una transición exitosa hacia un transporte más limpio, eficiente e inclusivo.

1.6. Sistemas de Gestión de Carga Nacionales e Internacionales

Los sistemas de gestión de carga son conjuntos de tecnologías, software y dispositivos utilizados para administrar y controlar eficientemente el proceso de carga de vehículos eléctricos. Estos sistemas son necesarios para asegurar una carga eficiente, segura y coordinada de los vehículos eléctricos en las estaciones de carga.

Algunos ejemplos de empresas y software que ofrecen sistemas de gestión de carga para vehículos eléctricos, divididos por nacional e internacional son:

Nacional.

- Enerlink: Ofrecen sistemas de monitoreo, los cuales ayuden con el ajuste de potencia, horarios de carga, para controlar su tiempo, costo y cuidar la vida de la batería, con su sistema obtienen monitoreo de autonomía, Soc, rutas. Tienen un sistema también para un consumidor individual, el cual entrega el estado de cada punto de carga [28].
- Ecocarga: La aplicación móvil o APP EcoCarga indica la posición geográfica de todas las estaciones de carga públicas disponibles en el país. Además, para aquellos usuarios que posean vehículos eléctricos les indica el tiempo que demora cada cargador en realizar el 80% de la carga de la batería, según marca y modelo específico elegido en la APP. Para cada punto de carga de acceso público, también se indican otras características como la potencia (kW), tipo de conector y la cantidad de conectores [3].

Internacional

- Ivu Andina: IVU traffic Technologies, es una empresa alemana que se especializa en software de planificación de transporte. Tienen distintos softwares para distintos controles que se realizan, uno es IVU.fleet que es la gestión de la flota, y con la llegada de la electromovilidad integraron otro control que es el IVU.suite, que gestiona los procesos de carga y recarga, realizando los planes de manera óptima, desde que llegan, se estacionan, cuanto tiempo se deben cargar, optimizando tanto la energía necesaria para cada viaje. Esto lo calculan con los datos meteorológicos, la cantidad de pasajeros, la antigüedad de la batería entre otros datos [29].
- DEPOT CONNECT. Siemens es una empresa global de origen alemán que ofrece soluciones de carga con su software Depot Connect para vehículos eléctricos. Su software

de gestión de carga permite la monitorización, el control y la planificación de la carga de los vehículos eléctricos, incluyendo la integración con la red eléctrica [30].

- DIAEnergie: El sistema de gestión de la energía industrial DIAEnergie de Delta (de origen Taiwanes) permite a las empresas visualizar y mejorar sus sistemas eléctricos y de potencia, especialmente los equipos de alto consumo de energía, a través de la intervención manual y el control de automatización, mediante la adquisición de datos, el análisis sistemático, la solución de problemas y el diagnóstico del ahorro de energía. El sistema ayuda a monitorizar y analizar el consumo de energía en tiempo real, calcular el consumo de energía y características de carga, optimizar el rendimiento del equipo, mejorar los procesos de producción y maximizar la eficiencia energética [31].
- EcoStruxure EV Charging Expert: El controlador que ofrece Schneider Electric (de origen Frances) ayuda a garantizar el respeto de las limitaciones de costos y eficiencia energética de un conjunto de estaciones de carga mediante el control de su funcionamiento. El controlador ejecuta su programa de gestión de acuerdo con los parámetros seleccionados y los datos recibidos de las estaciones de carga [32].

Respecto a lo anterior, estos sistemas de gestión de carga se enfocan principalmente en un software implementado en la infraestructura de carga, el cual con el monitoreo de la demanda eléctrica y los procesos de carga, determina los tiempos, mejores horarios para cargas de vehículos eléctricos y de esta manera reducir los costos.

1.7. Gestión de Energía, Programación de Carga de Buses Eléctricos y sus Impactos.

En esta sección se presentan distintos temas en estudio obtenidos de los documentos [6], [7], [8],[9],[10],[11]. Los cuales muestran varios aspectos a considerar cuando nos enfrentamos con la gestión de carga de buses eléctricos.

1.7.1. Ciclo de Conducción

Una serie de datos que representan la velocidad de un vehículo con respecto al tiempo son esenciales para un ciclo de conducción. Sin embargo, para los vehículos eléctricos personales livianos, sus secuencias de velocidad-tiempo no pueden aplicarse directamente a los vehículos eléctricos pesados, que están influenciados por la pendiente de la carretera [6]. Por lo tanto, el perfil de velocidad en función del tiempo, sincronizado con los datos de inclinación de la carretera, son necesarios para los ciclos de conducción para los Buses Eléctricos (BE). La importancia de los ciclos de conducción de un BE radica en que son crucialmente importantes para la estimación de la energía y el consumo de energía del BE [7]. Por ejemplo, si los futuros ciclos de conducción de los BE pudieran estar disponibles a priori, se puede modelar la demanda de energía de los BE, lo que podría facilitar no solo la gestión de energía y potencia de los BE, sino también la optimización del tamaño del Sistema de Almacenamiento de Energía. Por lo tanto, la síntesis y la predicción de futuros ciclos de conducción, así como el reconocimiento de patrones de conducción, están involucrados en el tema de investigación de la gestión de potencia/energía. Dado que los BE para el transporte

público operarán repetidamente con la misma rutina día a día, es mucho más fácil predecir el futuro ciclo de conducción de los BE en comparación con los vehículos eléctricos personales.

Existen ciclos de conducción bien conocidos que se estudian alrededor del mundo, de los cuales se extraen distintas características de estos ciclos de conducción para la investigación de los BE. En donde se entregan datos como la distancia de conducción, el periodo de tiempo, la velocidad máxima y la velocidad media, entre estos los múltiples tramos con cuesta arriba y cuesta abajo. Además, para los ciclos de conducción BE de ciudad, hay algunas características generales. Por ejemplo, la distancia operativa será generalmente de 180 a 210 km todos los días, cada ruta es comúnmente de menos de 50 km, el tiempo de duración entre cada ruta suele ser de 15 a 20 min [9].

1.7.2. Gestión de Potencia/Energía

El tren motriz de un bus eléctrico tiene distintos componentes dependiendo de las necesidades o enfoque que se le da en su uso, están compuesto por tipos de almacenamiento como baterías, capacitores, ultra-capacitores. También existen tren motriz con un motor eléctrico, híbridos o con dos motores eléctricos. Los BE que están en Chile se caracterizan por ser sistemas de propulsión de doble motor eléctrico, la eficiencia del modo de trabajo de dos motores depende del control de división de potencia. Existen distintos métodos de control o algoritmos que están en investigación para la gestión de energía de los BE, entre estos existe el diseño de control basado en la red neuronal (neural network, NN) con el objetivo de aumentar la eficiencia del tren motriz, pero la falta de experimentos hace que el resultado no sea convincente. Otros investigadores proponen la gestión de potencia basada en el reconocimiento de patrones de conducción (driving pattern recognition, DPR), pero la identificación precisa de las condiciones de conducción y la clasificación mixta del patrón de conducción siguen siendo cuestiones abiertas [8]. Por otro lado, los algoritmos de optimización se han aplicado ampliamente a la gestión de energía de los BE. Por ejemplo, la programación dinámica (dynamic programming, DP) se ha considerado comúnmente como el punto de referencia en comparación con otros métodos.

Lo anterior explica los distintos métodos de gestión de energía que tiene el bus propio, es decir, como se distribuye la energía eficientemente desde las baterías hasta el motor eléctrico.

1.7.3. Degradación de la Batería de Litio

La tecnología de batería de iones de litio (LIB) es un candidato prometedor para aplicaciones automotrices debido a sus impresionantes densidades energéticas y de potencia. Sin embargo, la vida útil prolongada de las células sigue siendo incierta para las LIB. El envejecimiento de las células se produce durante los modos de ciclo y almacenamiento (este último se denomina modo de calendario). Teniendo en cuenta que un automóvil personal pasa aproximadamente el 90 % de su vida en modo de estacionamiento, el estudio del envejecimiento de LIB durante el almacenamiento parece particularmente relevante. Además, la predicción eficiente de la degradación de las células de iones de litio es necesaria para la evaluación de la vida útil,

especialmente en aplicaciones de los vehículos eléctricos de los que se desea una vida útil de 10 a 15 años [10].

Existen algunas definiciones que son vitales cuando se habla de las baterías, estos son el estado de salud (state of health, SoH) y el estado de carga (state of charge, SoC). El estado de carga de una batería describe la diferencia entre una batería completamente cargada y la misma batería en uso. Está asociado a la cantidad restante de electricidad disponible en la celda.

Se define como la relación de la carga restante en la batería, dividida por la carga máxima que puede entregar la batería. Se expresa como un porcentaje como se muestra a continuación.

$$SoC \% = 100 \frac{Q_0 + Q}{Q_{max}} = SoC_0 \% + 100 \frac{Q}{Q_{max}}$$

Q_0 : Carga inicial de la batería. [mAh]

Q : La cantidad de electricidad entregada o suministrada a la batería. Es negativa durante la descarga y positiva durante la carga. [mAh]

Q_{max} : La carga máxima que se puede almacenar en la batería. [mAh]

SoC_0 : El estado de carga inicial de la batería. [%]

El estado de salud de una batería describe la diferencia entre una batería en estudio y una batería nueva y considera el envejecimiento de la celda.

Se define como la relación entre la carga máxima de la batería y su capacidad nominal. Se expresa como un porcentaje como se ve a continuación.

$$SoH \% = 100 \frac{Q_{max}}{C_r}$$

Q_{max} : La carga máxima disponible de la batería. [mAh]

C_r : La capacidad nominal.

Estudios muestran que la temperatura es un factor importante en la vida útil de una batería, la degradación de las baterías puede ser reducida no solo limitando la temperatura de la batería durante el ciclo, sino también evitando la recarga frecuente. Los resultados experimentales tienden a demostrar que una gestión de rango del SoC puede extender significativamente la vida útil de la batería [10].

1.7.4. Carga Inteligente (Smart Charging)

Para obtener la mejor gestión de carga se deben hacer preguntas importantes que deben responderse con anticipación, una buena planificación ahorra costos significativos y aumenta la disponibilidad de los BE. En la Figura 9 se muestran estas preguntas.

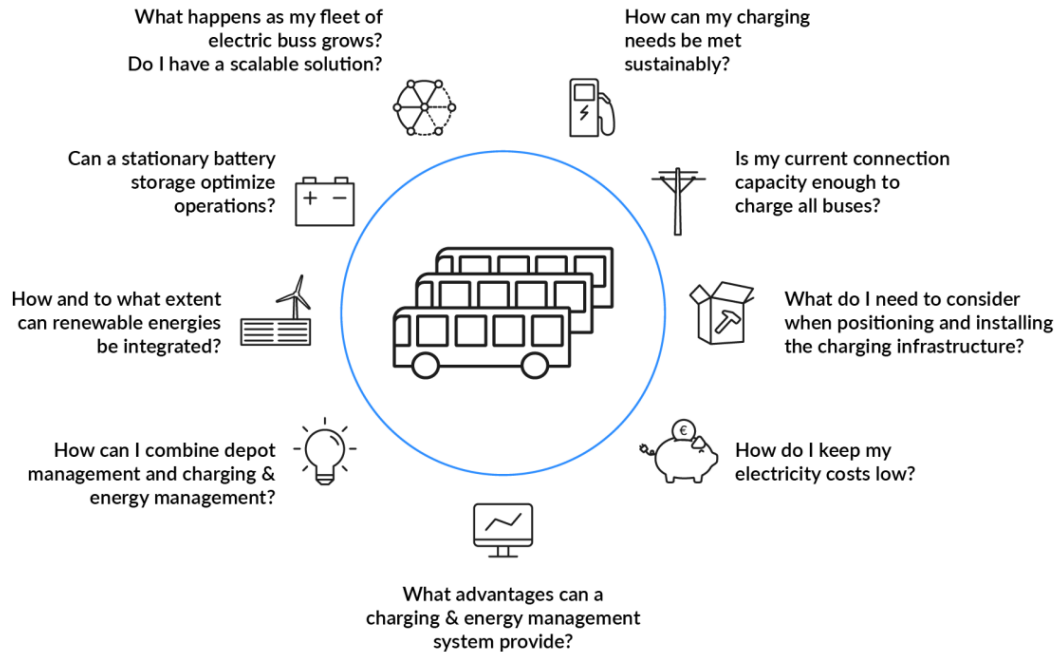


Figura 10: Las 9 preguntas para el camino a la carga inteligente [11].

- ¿Qué sucede a medida que crece mi flota de autobuses eléctricos? ¿Tengo una solución escalable?
- ¿Cómo se pueden satisfacer mis necesidades de carga de forma sostenible?
- ¿Puede un almacenamiento de batería estacionario optimizar las operaciones?
- ¿Cómo y en qué medida se pueden integrar las energías renovables?
- ¿Cómo puedo combinar la gestión de carga en los terminales y la gestión de energía?
- ¿Mi capacidad de conexión actual es suficiente para cargar todos los autobuses?
- ¿Qué debo tener en cuenta al colocar e instalar la infraestructura de carga?
- ¿Cómo mantengo mi costo de electricidad bajo?
- ¿Qué ventajas puede aportar un sistema de carga y gestión de la energía?

La gestión de carga y energía optimiza la carga de los BE y garantiza que los vehículos se carguen de manera confiable sin aumentar los costos. Además de la optimización de costos, la posibilidad de monitorear y evaluar los procesos de carga es una ventaja importante.

La gestión de carga reduce las costosas cargas máximas y, con ello, los costos de conexión a la red y las tarifas de la red. Las cargas se equilibran de forma inteligente compensando temporalmente los vehículos o cargándolos a capacidades más bajas. A menudo es necesario un sistema de gestión de carga para cargar varios autobuses en la conexión a la red existente. La incorporación de los datos del ciclo, el estado de carga (SoC) de la batería, los requisitos de energía, la configuración de preconditionamiento deseada y otros factores que permiten optimizar con precisión el proceso de carga para las operaciones.

En algunas circunstancias, puede haber incentivos financieros para optimizar la carga de la flota de autobuses, y no solo en términos de carga máxima. Este podría ser el caso si la tarifa de luz es más barata a ciertas horas del día o si se genera electricidad propia a ciertas horas. Si se puede usar estos tiempos para cargar, se puede ahorrar dinero adicional [11].

1.7.5. Modelamiento de la Demanda de Carga

Hasta ahora, el modelamiento de la demanda de carga en el contexto de los BE no ha sido bien investigado. El modelamiento de la demanda de carga de BE debe incluir la recopilación de datos reales y considerar diferentes escenarios. Se deben recopilar los datos reales del BE en el proceso de carga y descarga, incluidos la corriente, el voltaje, la potencia, el estado de carga (SoC), el estado de salud (SoH), la temperatura, el tiempo de vida de la batería, etc. Los otros índices que influyen en la energía del BE que también se deben recopilar es el consumo, incluido el número de pasajeros, el proceso de aceleración y desaceleración, las condiciones del tráfico, el uso de equipos adicionales (por ejemplo, aire acondicionado), etc. Una vez que se recopilan los datos reales de BE, se puede estimar el consumo de energía detallado y se puede construir el modelo preciso de demanda de carga. El modelo de demanda de carga de BE también debe considerar varios escenarios realistas, incluidos el clima, la temporada, la congestión del tráfico, la carga de pasajeros, la temperatura, el estado de la red eléctrica, etc. Se sugiere aprovechar el aprendizaje automático, la inteligencia artificial y el análisis de big data para entrenar el conjunto de datos y construir el modelo de demanda de carga de BE. Este modelo se puede utilizar más para evaluar los impactos de los BE en los sistemas de energía. Dado que la demanda de carga de los BE y sus impactos en los sistemas de energía están altamente conectados a los sistemas de red, vale la pena estudiar en profundidad la optimización de sistemas tan complicados y conectados [9].

1.7.6. Impacto del Bus Eléctrico en los Sistemas de Energía

Aunque los BE son benéficos en términos de la reducción de los GEI, su importante demanda de carga puede poner en peligro la eficiencia y la confiabilidad de los sistemas de energía actuales. Como uno de los principales consumidores de electricidad, la futura adopción generalizada de BE tendrá el potencial de afectar las operaciones de los servicios públicos urbanos y del sistema de energía. Por ejemplo, la demanda de electricidad para la carga nocturna de un BYD K9 BE es equivalente al consumo de energía promedio de más de veinte casas residenciales de América del Norte [9]. Las terminales de autobuses típicas o los servicios de transporte público no están diseñados para manejar una demanda de carga tan grande, ni los sistemas de energía que les suministran electricidad. Por lo tanto, una

investigación exhaustiva sobre las evaluaciones de impacto de los BE en los sistemas de energía y las técnicas de mitigación de los impactos es de suma importancia. Sin embargo, dichas evaluaciones de impacto y técnicas de mitigación no se han abordado en las publicaciones previas de BE. Por ejemplo, los impactos potenciales de los BE en los sistemas de energía incluyen la caída de voltaje incremental y la pérdida de energía. Por lo tanto, se sugiere desarrollar herramientas de mitigación basadas en la evaluación de impacto (por ejemplo, carga coordinada de BE) y, si es necesario, realizar los ajustes apropiados para actualizar las redes eléctricas actuales desde la perspectiva del operador del sistema. Esta dirección de investigación garantizará la eficiencia y confiabilidad de las operaciones de la red eléctrica bajo el incremento significativo de la demanda, lo que a su vez facilita la adopción de BE en el futuro.

2. Metodología

En este capítulo se explicarán las dos metodologías que se utilizaron en este trabajo. La primera metodología consiste en encuesta y visita a Subus Chile S.A., para poder obtener información sobre la gestión de carga que se realiza en el terminal. La segunda metodología tiene el nombre Estructura de Desglose del Trabajo (EDT), también conocida con su nombre en inglés Work Breakdown Structure (WBS), en resumen, este método consiste en la descomposición jerárquica del trabajo que se debe ejecutar.

2.1. Encuesta y Visita Subus Chile S.A.

Para tener un acercamiento de cómo es la gestión de carga en el transporte público chileno, la primera metodología de trabajo consistió en obtener el contacto con la empresa Subus Chile S.A. Para poder realizar una visita a sus terminales de buses y con la ayuda de un cuestionario obtener información acerca de los cargadores, los buses, y los procesos de gestión que se realizan a la hora de trabajar con una flota de buses eléctricos. El terminal en estudio fue el terminal de Recoleta, comuna de Huechuraba.

Realizar una encuesta efectiva implica seguir una serie de pasos para garantizar la obtención de datos precisos y significativos. A continuación, se detallan los pasos principales para llevar a cabo una encuesta efectiva: Definir el objetivo, Identificar la fuente, Diseñar las preguntas, Establecer el formato y la estructura, Implementar la encuesta, Analizar los datos, Comunicar los resultados. [16]

1. Definir el objetivo: Antes de iniciar una encuesta, es fundamental tener claro el objetivo de esta. ¿Qué información se desea obtener? ¿Qué preguntas se deben responder? Definir claramente el propósito de la encuesta ayudará a enfocar las preguntas y obtener datos relevantes.
2. Identificar la fuente: Determinar a quién se dirige la encuesta es esencial para diseñar preguntas y recopilar datos adecuados.
3. Diseñar las preguntas: Las preguntas deben ser claras, concisas y estar enfocadas en el objetivo de la encuesta.
4. Establecer el formato y la estructura: Decidir si la encuesta se realizará en formato impreso, en línea o por otros medios, como entrevistas telefónicas o en persona.
5. Analizar los datos: Una vez recopilados los datos, se deben analizar de manera adecuada. Esto implica realizar un procesamiento estadístico, identificar patrones, tendencias o resultados significativos y extraer conclusiones basadas en los datos obtenidos. El análisis de los datos permitirá obtener información relevante para el objetivo planteado y tomar decisiones fundamentadas.
6. Comunicar los resultados: Finalmente, es importante comunicar los resultados de la encuesta de manera clara y accesible. Se pueden utilizar gráficos, tablas o informes para presentar los hallazgos de manera visual y comprensible. Además, es recomendable

compartir los resultados con los participantes de la encuesta, si es posible, para cerrar el ciclo de retroalimentación.

En este caso nuestro objetivo es saber qué información queremos obtener, esta es conocer cómo se realiza la gestión de carga en un terminal de buses eléctricos en Chile, sus características, parámetros a considerar al llevar a una flota eléctrica al transporte público. Por lo que nuestra fuente de información será una empresa de transporte público chileno. Nuestras preguntas dirigidas a la empresa de transporte público se mostrarán a continuación:

1. ¿Cómo está compuesto su flota de Buses Eléctricos? ¿Cuántos? ¿Qué marca?
2. ¿Cuál es la Potencia instalada, número de cargadores y potencia de los cargadores?
3. ¿Cómo realizan la Gestión de Carga?
4. ¿Utilizan softwares de control de carga para los buses?
5. ¿Han analizado otros tipos de cargas de buses, por ejemplo, cargador tipo pantógrafo, cargador por inducción, o el cambio de baterías?
6. ¿Existe un análisis de los Ciclos de Conducción de las rutas que ustedes operan? (Qué datos toman)
7. ¿Cuál es su sistema de Gestión de Flota de Buses?
8. ¿Es una de sus preocupaciones las horas peak de carga y qué acciones toma respecto a esto?
9. ¿Qué medidas toman para la degradación de las baterías de litio?
10. ¿Qué diferencias existen entre buses convencionales y eléctricos para su programa de operación?

Respecto al formato y la estructura, se decidió que encuesta será tanto digital como en persona, las preguntas son enviadas vía mail al acompañante de la visita, esto fue acordado entre ambos actores para obtener respuestas más completas. La visita se realizó principalmente para conocer las instalaciones, infraestructura de carga, buses eléctricos y programa de operación.

En el capítulo de Resultados se realiza el análisis de los datos recopilados y los resultados de la encuesta.

2.2. Estructura de desglose del trabajo (EDT)

El Work Breakdown Structure (WBS), o Estructura de Desglose del Trabajo (EDT), . Consiste en representar gráficamente la descomposición jerárquica de las tareas, entregables y actividades necesarias para completar un proyecto.

El objetivo principal del EDT es dividir el trabajo del proyecto en partes más manejables y comprensibles, lo que facilita su planificación, ejecución y control. Para realizar de manera efectiva el método EDT, se siguen los siguientes pasos: [15].

1. Identificar el objetivo principal: Se comienza por comprender claramente el objetivo principal del proyecto o tema que deseas desglosar. Esto ayuda a tener una visión clara y definida de lo que se espera lograr.
2. Crear una lista de entregables: Identificar los entregables principales del proyecto. Estos son los resultados tangibles o productos que se deben obtener al finalizar el proyecto.
3. Desglosar los entregables en tareas: Tomar cada entregable identificado y descomponer los en tareas más pequeñas y manejables. Las tareas deben ser claras, específicas y medibles. Hay que asegurar que cada tarea contribuya directamente al logro del entregable correspondiente.
4. Establecer niveles y subniveles: Organizar las tareas en niveles y subniveles jerárquicos. El primer nivel puede representar los principales componentes o áreas de trabajo del proyecto, mientras que los subniveles representan las tareas más detalladas dentro de cada componente.
5. Describir cada tarea: En esta etapa se pueden realizar instrucciones de trabajo, nombrar los insumos necesarios, los resultados esperados o las responsabilidades de cada tarea definida previamente en el proyecto.
6. Definir la estructura: Utilizar una representación gráfica o una tabla para mostrar la estructura del EDT. Utilizar herramientas como diagramas de árbol o software de gestión de proyectos para crear y organizar el EDT de manera efectiva.
7. Revisar y validar el EDT: Revisar cuidadosamente el EDT para asegurar que todas las tareas relevantes estén incluidas y se correspondan con los entregables definidos. Verificar que no haya tareas duplicadas o que haya áreas que se hayan omitido.
8. Utilizar el EDT como guía: Una vez completado el EDT, se puede utilizar como guía para la planificación y ejecución del proyecto. Se pueden asignar recursos, estimar tiempos, establecer dependencias entre tareas y realizar un seguimiento del progreso utilizando la estructura del EDT.

A continuación, se muestra una representación gráfica ejemplo del EDT.

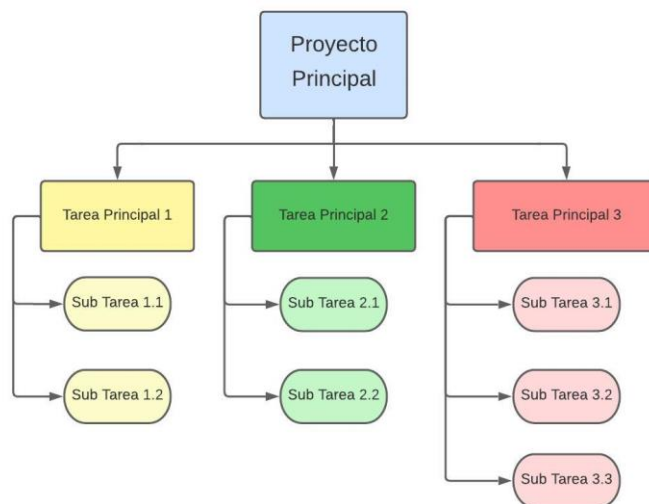


Figura 11: Representación gráfica ejemplo del EDT elaboración propia a partir de [15].

3. Resultados

En este capítulo se presentarán los dos resultados correspondientes a las dos metodologías que se utilizaron, estas son la encuesta y el desarrollo del método EDT. Además de una síntesis con todo lo aprendido, se identifican los parámetros necesarios para implementar la gestión de carga de los buses eléctricos.

3.1. Respuesta de Subus Chile S.A.

Subus Chile S.A., o simplemente Subus, es una empresa chilena de transporte público. Opera toda la Unidad de negocio 2 de la Red Metropolitana de Movilidad, servicios numerados del 201 al 230, 262n, 264n, 271, 272, G02, G07, G08/v, G14, G22 y G23, excepto 213e y 223.2. Sus servicios corresponden al eje vial norte-sur y sur del mencionado sistema de transporte público. Es una sociedad anónima cerrada constituida por capitales colombianos, que cuenta con el respaldo de la empresa Fanalca.[14]

Todas las respuestas obtenidas de la encuesta se analizan y se presentan en los siguientes puntos.

3.1.1. Flota de Buses y Cargadores

La flota de buses eléctricos en la empresa Subus Chile se compone de 107 unidades de 12 metros de largo. Estos se reparten en dos terminales en la Región Metropolitana de Santiago. Terminal Recoleta, comuna Huechuraba, el cual tiene 42 buses eléctricos y el terminal Santa Rosa, comuna La Pintana, el cual contiene 65 buses eléctricos. Se adquirió la marca Foton, representada en Chile por la empresa Andes Motor.

La operación de carga eléctrica de buses en la empresa Subus Chile S.A. se realiza mediante dos electroterminales, que se denominan infraestructura de recarga de vehículos eléctricos (IRVE) según se mencionan en normativa RIC, Pliego 15 referente a estas infraestructuras. Con un terminal en el norte de la ciudad, en la comuna de Huechuraba, el Terminal Recoleta presenta un empalme eléctrico con la empresa distribuidora Enel, una potencia instalada de 1.8 MW, para un total de 12 cargadores. Con el segundo terminal en el sur de la ciudad, en la comuna de La Pintana, el empalme realizado es de una potencia eléctrica de 3.1 MW, con la empresa distribuidora CGE, para una cantidad de 18 cargadores. Los cargadores usados en la operación de carga eléctrica en la Empresa Subus Chile S.A. son de la marca ABB, modelo Terra, con un set up de 150 KW de potencia. A continuación, se muestran algunas fotografías de la visita.



Figura 12: Fotografía General, a la izquierda buses fuera de operación y en la derecha zona de carga de buses [foto propia].



Figura 13: Cargador Enel X, se muestran ambas mangueras de carga. [foto propia].



Figura 14: Zoom al cargador, donde se observa un tipo de conector CCS y carga del 79%, entregando 180 kW [foto propia].



Figura 15: Conexión del cargador con el bus eléctrico [foto propia].

3.1.2. Gestión de Carga de Subus Chile S.A.

En la Empresa Subus Chile S.A. el área de operaciones calcula la cantidad de kilómetros a recorrer de un bus asignado a una línea de servicio que el DTPM (Directorio de Transporte Público Metropolitano) asigna a cada empresa operadora. De esa cantidad de kilómetros a recorrer, se realiza el cálculo de energía a suministrar a cada bus eléctrico, antes de salir a realizar su recorrido diario. Esa energía por suministrar, mediante el equipo cargador, se entrega en un tiempo determinado, según sea la capacidad de la batería del bus a cargar. Cada bus presenta un tiempo de carga durante la jornada de la noche anterior a su salida a cumplir en el Plan de Operaciones. Con el tiempo conocido, y la jornada de carga nocturna, se calcula cuantos buses por cargador, en ese periodo se podrán cargar. La gestión consistirá entonces en la asignación a un sistema de carga, con una potencia estable, y en un tiempo determinado, una cantidad de buses que saldrán a recorrer el día siguiente los kilómetros solicitados por el DTPM.

3.1.3. Parámetros que Influyen en el Modelo Operacional

Los planes operacionales que existen se han realizado en base a los buses diésel, con estos buses que cumplían con otros parámetros distintos a los eléctricos. Dentro de las diferencias que existen entre flota de combustible diésel y eléctrico se puede nombrar las siguientes:

- Programa de Carga Eléctrica: Presenta rigidez y poca flexibilidad en la operación frente al de combustible diésel.
- Forma de Conducción: Si bien todo mal hábito en las dos conducciones trae mayor gasto energético, el consumo eléctrico es mayor y más incidente.
- Estaciones del año, altimetría de las rutas, distancias, en flota diésel no presentan grandes dificultades en el cumplimiento del programa de operación diario.
- Degradación de las baterías de litio: En la empresa Subus Chile S.A. ante el asunto de la degradación de las baterías, se realiza control de la situación de carga por arriba del 20% de porcentaje que recomienda el fabricante. Es una norma para cada conductor mantener ese mínimo de cumplimiento y se mantienen por arriba de 2% como norma general. Dado que la flota aún no tiene una edad suficiente para realizar proyecciones en el tiempo, se toma la medición del SoH del bus y del software de carga.
- Horarios peak de carga: En los electroterminales, se tienen los periodos de restricciones de la industria. Es decir, se consideran los Intervalos de carga en periodos comprendidos entre 7 y 18 horas, y de las 22 hasta las 6 horas del siguiente día. El horario peak de carga se da en el periodo de la noche, en el cual la mayoría de la flota se encuentra en el terminal esperando ser cargado. En dicho lapso, los buses deben estar preparados para estacionar frente a cada cargador y recibir la energía programada. Otras actividades complementarias como limpieza de buses, reparaciones de accesorios o trabajos programados son de segunda relevancia antes de la de carga eléctrica. Los intercambios

de buses, del cargado al que espera por ser cargado, debe ser ágil y contar con conductores apropiados para esa maniobra, en capacitación y en cantidad. Otra consideración de importancia considerar es mantener el porcentaje de carga por arriba del 25% para que los tiempos de carga cumplan su programación.

3.2. Desarrollo Método EDT

Para el desarrollo de la metodología EDT, se juntó la información obtenida de la encuesta y visita a Subus Chile S.A. y la información de las distintas fuentes bibliográficas utilizadas en este trabajo. La gestión de carga de buses eléctricos implica la recopilación de información para definir las diferentes tareas relacionadas con la gestión de carga. Este proceso se trata de la descomposición en el que se analiza y desglosa la gestión de carga en componentes más pequeños y manejables.

Utilizando como idea principal la gestión de carga de buses eléctricos, se obtuvo que las tareas principales son:

1. Investigación.
2. Planificación de rutas y horarios.
3. Infraestructura de carga.
4. Sistemas de gestión de carga inteligente.
5. Monitoreo y análisis de datos.
6. Capacitación y mantenimiento.

Estas tareas se seleccionaron en base a su relevancia y contribución a la eficiente y efectiva gestión de carga de los buses eléctricos.

3.2.1. Tareas Principales de la Gestión de Carga

La Investigación es una etapa fundamental en la implementación de la gestión de carga de buses eléctricos en el transporte público. Durante esta fase, se lleva a cabo un estudio exhaustivo y detallado para recopilar información relevante sobre las tecnologías de carga disponibles en el mercado, las normativas y estándares aplicables, la viabilidad técnica y económica del proyecto, los requisitos de infraestructura eléctrica y los objetivos y metas de este.

La tarea de Planificación de rutas y horarios es fundamental para asegurar un funcionamiento eficiente del transporte público con buses eléctricos. Consiste en diseñar de manera estratégica las rutas y horarios de operación, considerando diversos factores como la demanda de transporte, la capacidad de carga de los vehículos, la infraestructura de carga disponible y los tiempos de recarga. Esta planificación cuidadosa permite optimizar los recursos, minimizar los tiempos de espera de los pasajeros y garantizar un servicio de calidad en términos de puntualidad y cobertura.

La Infraestructura de carga es una tarea crucial, ya que aborda los aspectos físicos y logísticos necesarios para habilitar la carga de los buses eléctricos. Esto incluye la identificación y diseño de ubicaciones adecuadas para los puntos de carga, la instalación de la infraestructura eléctrica necesaria, la selección de los tipos de cargadores y la coordinación con los proveedores de energía eléctrica. Una infraestructura de carga eficiente y bien planificada garantiza que los buses puedan cargar de manera conveniente y confiable.

Los sistemas de gestión de carga inteligente se incluyeron como tarea principal debido a su capacidad para optimizar y controlar el proceso de carga de manera inteligente. Estos sistemas permiten la programación de carga, la gestión de la demanda energética, la priorización de carga y el monitoreo en tiempo real. Al implementar sistemas de gestión de carga inteligente, se puede maximizar la utilización de los recursos energéticos disponibles y garantizar una carga eficiente y equilibrada.

El Monitoreo y análisis de datos se consideró fundamental para evaluar y mejorar continuamente la gestión de carga de los buses eléctricos. Esta tarea implica el monitoreo de parámetros de carga, la recopilación de datos sobre el consumo de energía y el rendimiento de la infraestructura de carga, así como el análisis de estos datos para identificar patrones, tendencias y oportunidades de mejora. El monitoreo y análisis de datos permiten tomar decisiones informadas y realizar ajustes necesarios para optimizar la gestión de carga.

Finalmente, la capacitación y mantenimiento se incluyeron como una tarea importante para garantizar el correcto funcionamiento de la gestión de carga a largo plazo. Esta tarea implica la capacitación del personal involucrado en la operación y mantenimiento de la infraestructura de carga y los sistemas de gestión. Además, se debe establecer un plan de mantenimiento regular para garantizar el funcionamiento óptimo de los equipos de carga y prevenir posibles fallas.

En resumen, se eligieron estas tareas principales dentro del EDT de gestión de carga de buses eléctricos debido a su contribución esencial para lograr una carga eficiente, confiable y sostenible. Cada tarea aborda un aspecto clave de la gestión de carga y su inclusión en el EDT permite una planificación y ejecución estructurada del proyecto de gestión de carga de buses eléctricos.

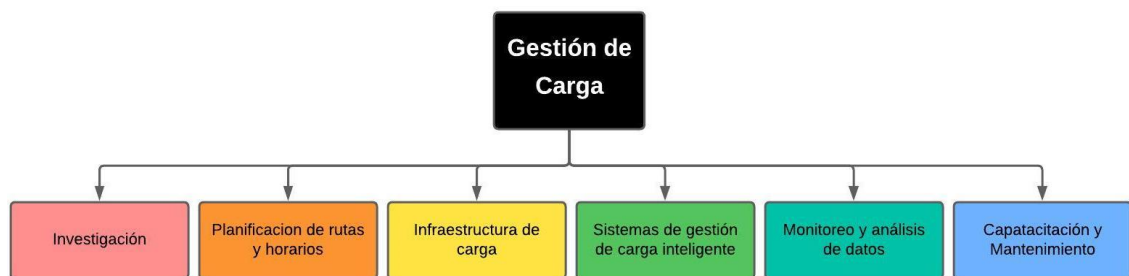


Figura 16: Diagrama EDT de Gestión de Carga de Buses Eléctricos con sus tareas principales. [elaboración propia]

Con esto ya tenemos un desarrollo preliminar con las tareas principales, en donde tenemos el diagrama de la Figura 11, con el primer nivel tenemos los principales componentes de la gestión de carga de buses eléctricos. Ahora a este diagrama se le desarrolla el subnivel, para descomponer y organizar en subtareas más detalladas de las tareas principales.

3.2.2. Tareas Específicas de la Gestión de Carga

En la etapa anterior del desarrollo del EDT, hemos identificado y definido las principales tareas para la implementación de la gestión de carga de buses eléctricos en el transporte público. Estas tareas principales representan los elementos clave que deben abordarse para lograr con éxito la implementación del sistema.

Ahora, nos adentraremos en la siguiente fase del proceso, donde se detallarán las subtareas específicas que se requieren para llevar a cabo cada una de las tareas principales. Al definir las subtareas, estamos descomponiendo las tareas principales en elementos más pequeños y manejables. Esto nos permite tener una visión más detallada del trabajo que debe realizarse, lo que facilita la asignación de responsabilidades, la estimación de tiempos y recursos, y el seguimiento del progreso del proyecto. A continuación, se desglosan las tareas principales:

1. Investigación:

- 1.1. Investigar tecnologías de carga disponibles en el mercado.
- 1.2. Analizar las normativas y estándares aplicables a la carga de buses eléctricos.
- 1.3. Evaluar la viabilidad técnica y económica de la implementación de la gestión de carga.
- 1.4. Identificar los requisitos de infraestructura eléctrica necesarios para la carga de los buses.
- 1.5. Definir los objetivos y metas del proyecto de gestión de carga.
- 1.6. Establecer un plan de acción y un cronograma para la implementación de la gestión de carga.

2. Planificación de rutas y horarios:

- 2.1. Analizar la infraestructura de transporte existente y las rutas de buses actuales.
- 2.2. Evaluar la demanda de transporte y los patrones de viaje de los usuarios.
- 2.3. Diseñar nuevas rutas y horarios considerando la integración de buses eléctricos.
- 2.4. Coordinar con las autoridades de transporte para obtener la aprobación de las nuevas rutas.
- 2.5. Elaboración de un cronograma de carga de buses eléctricos en los terminales.

3. Infraestructura de carga:

- 3.1. Identificar ubicaciones adecuadas para los puntos de carga en las terminales o estaciones de buses.
- 3.2. Realizar estudios de factibilidad técnica y logística para la instalación de la infraestructura de carga.

- 3.3. Diseñar y dimensionar el sistema eléctrico para soportar la demanda de carga de los buses eléctricos.
- 3.4. Seleccionar los tipos de cargadores y equipos de carga según las necesidades y requisitos específicos.
- 3.5. Coordinar con los proveedores de energía eléctrica para garantizar una conexión confiable y segura.
- 3.6. Implementar la infraestructura de carga de acuerdo con los estándares y regulaciones vigentes.
- 4. Sistemas de gestión de carga inteligente:
 - 4.1. Investigar opciones de sistemas de gestión de carga inteligente.
 - 4.2. Integrar el sistema de gestión de carga con la infraestructura de carga y los sistemas de monitoreo.
 - 4.3. Implementar estrategias de gestión de la demanda energética para optimizar el uso de los recursos.
 - 4.4. Realizar pruebas y ajustes para garantizar un funcionamiento eficiente y confiable del sistema
 - 4.5. Depot Management (Gestión de depósito).
- 5. Monitoreo y análisis de datos:
 - 5.1. Instalar sensores y dispositivos de monitoreo en los puntos de carga y en los buses eléctricos.
 - 5.2. Recopilar y registrar datos relacionados con la carga, como consumo de energía y tiempo de carga.
 - 5.3. Analizar los datos recopilados para identificar patrones de carga, eficiencia y rendimiento.
 - 5.4. Generar informes y análisis periódicos para evaluar la efectividad de la gestión de carga.
 - 5.5. Utilizar los resultados del análisis para realizar mejoras continuas en la gestión de carga.
- 6. Capacitación y mantenimiento:
 - 6.1. Diseñar un programa de capacitación para el personal encargado de la gestión de carga.
 - 6.2. Brindar capacitación sobre el uso de la infraestructura de carga y los sistemas de gestión.
 - 6.3. Establecer un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de carga y la infraestructura eléctrica.
 - 6.4. Realizar inspecciones regulares y mantenimiento correctivo según sea necesario.
 - 6.5. Capacitar al personal de mantenimiento en la detección y resolución de problemas técnicos.
 - 6.6. Evaluar periódicamente la eficacia del programa de capacitación y realizar ajustes si es necesario.

Con lo anterior ya tenemos un despliegue más profundo de cada uno de los componentes de la gestión de carga de buses eléctricos, lo que nos permite una idea más clara de todas las tareas necesarias para garantizar el exitoso y eficiente manejo de la infraestructura de carga y la operación de los buses eléctricos.

3.2.3. Descripción de las Tareas de Gestión de Carga.

En esta sección se describirán las tareas específicas de la gestión de carga de buses eléctricos, detallando lo que implican cada una de ellas. Hay que recordar que el objetivo principal del EDT es la descomposición de tareas que nos faciliten la planificación, asignación de recursos y seguimientos del progreso.

1. Investigación.

1.1. Para investigar las tecnologías de carga disponibles en el mercado, es necesario realizar un análisis exhaustivo de las diferentes opciones existentes. Esto incluye investigar los tipos de cargadores, sistemas de carga rápida, carga lenta y carga inalámbrica. Se deben evaluar las características técnicas de cada tecnología, como la potencia de carga, la compatibilidad con los buses eléctricos y la eficiencia energética. Además, se deben considerar aspectos como la disponibilidad de proveedores, los costos de implementación y los tiempos de carga.

1.2. Analizar las normativas y estándares aplicables a la carga de buses eléctricos es fundamental para garantizar el cumplimiento de las regulaciones nacionales e internacionales. Esto implica revisar las normativas relacionadas con la seguridad eléctrica, la capacidad de carga de las infraestructuras y los estándares de interoperabilidad. Asimismo, se deben considerar las regulaciones específicas para la instalación de puntos de carga en espacios públicos, como las normas de construcción y las regulaciones ambientales.

1.3. Evaluar la viabilidad técnica y económica de la implementación de la gestión de carga implica analizar los beneficios y costos asociados. Se deben considerar los beneficios, como la reducción de emisiones contaminantes, los ahorros en costos de combustible y mantenimiento, y la mejora en la imagen ambiental de la empresa de transporte. Además, se deben evaluar los costos de inversión en infraestructura de carga, equipos y software, así como los costos operativos y de mantenimiento a largo plazo.

1.4. Identificar los requisitos de infraestructura eléctrica necesarios para la carga de los buses implica realizar un análisis de la capacidad de la red eléctrica existente y determinar si es suficiente para soportar la carga de los buses eléctricos. Esto implica evaluar la capacidad de los transformadores, la disponibilidad de puntos de conexión y la capacidad de carga en las terminales o estaciones de buses. También se deben considerar los aspectos de seguridad eléctrica y la necesidad de implementar medidas de gestión de carga para evitar sobrecargas o problemas de estabilidad de la red.

1.5. Definir los objetivos y metas del proyecto de gestión de carga implica establecer claramente los resultados que se desean alcanzar. Esto puede incluir objetivos relacionados con el cuidado del medio ambiente, el ahorro de costos, la eficiencia operativa y la mejora de

la experiencia del usuario. También se deben establecer metas específicas y medibles, como el porcentaje de buses eléctricos en la flota, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la eficiencia energética alcanzada.

1.6. Establecer un plan de acción y un cronograma para la implementación de la gestión de carga implica definir las etapas del proyecto, asignar recursos, establecer responsabilidades y establecer plazos. Esto incluye la elaboración de un plan detallado que indique las acciones a seguir, los hitos a alcanzar y los recursos necesarios en cada etapa del proyecto. Asimismo, se debe desarrollar un cronograma que establezca las fechas límite y las secuencias de las diferentes actividades.

2. Planificación de rutas y horarios.

2.1. El análisis de la infraestructura de transporte existente y las rutas de buses actuales implica evaluar el diseño y la cobertura de las rutas, la distribución de las paradas y los tiempos de recorrido. Se deben identificar las posibles rutas y se deben examinar detalladamente los terminales de buses existentes, su ubicación y su capacidad de carga. Esto implica evaluar si los terminales cuentan con la infraestructura eléctrica necesaria para cumplir con la demanda de los usuarios y la demanda de carga de los buses eléctricos.

2.2. Evaluar la demanda de transporte y los patrones de viaje de los usuarios implica recopilar y analizar datos sobre los flujos de pasajeros, los horarios de mayor demanda y las características de los usuarios. Esto permite determinar la cantidad de buses eléctricos necesarios en función de la demanda y la capacidad de carga de los terminales, así como definir estrategias de implementación que minimicen el impacto en los usuarios y maximicen los beneficios de la gestión de carga.

2.3. Diseñar nuevas rutas y horarios considerando la integración de buses eléctricos implica realizar una planificación detallada que considere las rutas existentes, la demanda de transporte y la ubicación de los electroterminales. Se deben definir las nuevas rutas, los horarios de operación y la asignación de buses eléctricos a cada ruta en función de la capacidad de carga y la autonomía de los vehículos. Se eligió esta tarea porque el sistema de transporte público actual se construyó pensando en las características que puede cumplir un bus diésel, cuando un bus eléctrico debería tratarse como una nueva máquina de transporte.

2.4. Coordinar con las autoridades de transporte para obtener la aprobación de las nuevas rutas implica establecer comunicación y coordinación con las autoridades competentes para obtener los permisos y las autorizaciones necesarias. Esto puede incluir la presentación de planes de rutas, la justificación de la viabilidad de los buses eléctricos y la evaluación de los impactos en la operación y los usuarios.

2.5. Elaboración de un cronograma de carga de buses eléctricos en los terminales implica definir los horarios y las secuencias de carga de los buses en las terminales o estaciones de buses. Se deben considerar los tiempos de carga, la capacidad de los cargadores y la necesidad de optimizar la disponibilidad de los buses eléctricos para su operación.

3. Infraestructura de carga.

3.1. Identificar ubicaciones adecuadas para los puntos de carga en los terminales o estaciones de buses significa realizar estudios de viabilidad técnica y logística. Se deben evaluar factores como el acceso a la energía eléctrica, la disponibilidad de espacio, las restricciones de construcción y la conveniencia para la operación de los buses.

3.2. Al realizar estudios de factibilidad técnica y logística para la instalación de la infraestructura de carga de buses eléctricos, se llevan a cabo diferentes análisis y evaluaciones para garantizar que la implementación sea viable y exitosa. Estos estudios abarcan diversos aspectos relacionados con la capacidad de la red eléctrica, la instalación de equipos de carga, la coordinación con los proveedores de energía y la logística de instalación y mantenimiento

3.3. Diseñar y dimensionar el sistema eléctrico para soportar la demanda de carga de los buses eléctricos implica realizar cálculos de carga, determinar la capacidad requerida de los transformadores y dimensionar los conductores eléctricos adecuados. Se deben considerar las necesidades actuales y futuras de carga, así como la eficiencia energética del sistema.

3.4. Seleccionar los tipos de cargadores y equipos de carga según las necesidades y requisitos específicos significa evaluar las opciones disponibles en el mercado y seleccionar los equipos más adecuados. Esto incluye considerar la potencia de carga, la compatibilidad con los buses eléctricos, la interoperabilidad y la facilidad de uso.

3.5. Coordinar con los proveedores de energía eléctrica para garantizar una conexión confiable y segura implica establecer acuerdos y contratos con los proveedores de energía para garantizar un suministro estable y seguro. Se deben establecer mecanismos de monitoreo y solución de problemas en caso de interrupciones o fallas en el suministro eléctrico.

3.6. Para implementar la infraestructura de carga de acuerdo con los estándares y regulaciones vigentes se debe asegurar que la instalación cumpla con las normativas y regulaciones locales e internacionales. Esto incluye aspectos de seguridad eléctrica, protección contra incendios, accesibilidad y señalización adecuada.

4. Sistemas de gestión de carga inteligente.

4.1. Investigar opciones de sistemas de gestión de carga inteligente, una vez recopilada la información sobre las opciones de sistemas de gestión de carga inteligente, se llevará a cabo una evaluación detallada de las características y funcionalidades de cada uno. Se analizará si el sistema ofrece las herramientas necesarias para la gestión eficiente de la carga de los buses eléctricos, como la programación de carga, la gestión de la demanda energética y la integración con otros sistemas de monitoreo. Se evaluará la facilidad de uso, la escalabilidad, la compatibilidad con los equipos de carga existentes y la capacidad de personalización del software.

4.2. Integrar el sistema de gestión de carga con la infraestructura de carga y los sistemas de monitoreo implica establecer las conexiones y protocolos de comunicación necesarios. Esto

permite la recolección y el intercambio de datos entre el software, los cargadores, los buses eléctricos y los sistemas de monitoreo. Esto también permite la transmisión de datos relevantes, como el estado de carga, la autonomía y los tiempos de carga estimados.

4.3. Implementar estrategias de gestión de la demanda energética para optimizar el uso de los recursos implica utilizar algoritmos y técnicas de programación para equilibrar la carga de los buses eléctricos y evitar sobrecargas en la red eléctrica. Esto puede incluir la programación inteligente de la carga, la priorización de carga en horarios de menor demanda y la gestión de la capacidad de carga disponible.

4.4. Realizar pruebas y ajustes para garantizar un funcionamiento eficiente y confiable del sistema implica realizar pruebas piloto y pruebas de funcionamiento del software y la infraestructura de carga. Se deben realizar ajustes y mejoras según sea necesario para garantizar un rendimiento óptimo del sistema.

4.5. Depot Management (Gestión de depósito): Coordinar la carga de los buses eléctricos en el depósito implica establecer procedimientos y horarios de carga para los buses cuando se encuentran en el depósito. Esto asegura que los buses estén completamente cargados antes de iniciar sus rutas y optimiza la disponibilidad de los vehículos para el servicio de transporte.

Para dar un contexto general de lo que queremos tener en un sistema de carga inteligente, podemos decir que se buscan características como el monitoreo de carga, control de potencia y tiempo de carga, que forman parte de la infraestructura de carga. Estas características permiten supervisar y controlar el proceso de carga de los buses eléctricos para optimizar su eficiencia y rendimiento.

Además, otro aspecto importante es la capacidad de monitorear el nivel de batería de los buses mientras están en operación. Esto proporciona información sobre el estado de carga de cada vehículo y permite planificar de manera más eficiente la programación de carga en el terminal. Mediante la coordinación entre el programa de operación y el sistema de gestión de carga, se puede aplicar la gestión de depósito, que implica realizar la carga de los buses eléctricos en el depósito en función de sus necesidades y la demanda esperada para asegurar que estén listos para su próxima operación.

En resumen, la gestión de carga inteligente abarca un ciclo completo que va desde la carga de los buses, su operación en las rutas y el monitoreo de su nivel de batería, hasta la planificación y coordinación de la carga en el depósito. Esto permite maximizar la eficiencia energética, optimizar los recursos disponibles y garantizar un servicio de transporte eléctrico confiable y sostenible.

5. Monitoreo y análisis de datos.

5.1. Instalar sensores y dispositivos de monitoreo en los puntos de carga y en los buses eléctricos implica la colocación de sensores y dispositivos de medición para recopilar datos relacionados con la carga de los buses eléctricos y el consumo de energía en los puntos de

carga. Estos dispositivos deben proporcionar información precisa y en tiempo real sobre el rendimiento y la eficiencia del sistema de carga.

5.2. Recopilar y registrar datos relacionados con la carga, implica la recopilación sistemática y el registro de datos relevantes para el funcionamiento y rendimiento del sistema de gestión de carga. Estos datos pueden incluir la cantidad de energía utilizada, los tiempos de carga, la duración de la carga y otros parámetros relacionados.

5.3. Analizar los datos recopilados para identificar patrones de carga, eficiencia y rendimiento implica el procesamiento y análisis de los datos almacenados para identificar tendencias, patrones y oportunidades de mejora en el sistema de carga. Esto puede incluir análisis estadísticos, técnicas de visualización de datos y modelos predictivos para evaluar la eficiencia y el rendimiento del sistema.

5.4. Generar informes y análisis para evaluar la efectividad de la gestión de carga implica la elaboración de informes y análisis periódicos que resuman los resultados del monitoreo y análisis de datos. Estos informes deben proporcionar información clave sobre el rendimiento del sistema de carga, la eficiencia energética, los costos de operación y otros indicadores relevantes.

5.5. Utilizar los resultados del análisis para realizar mejoras continuas en la gestión de carga implica utilizar los hallazgos y conclusiones obtenidos del análisis de datos para identificar áreas de mejora y oportunidades de optimización en el sistema de gestión de carga. Esto puede implicar ajustes en los perfiles de carga, la implementación de estrategias más eficientes de programación de carga y la incorporación de nuevas tecnologías o enfoques para mejorar el rendimiento general del sistema.

6. Capacitación y mantenimiento.

6.1. Diseñar un programa de capacitación para el personal encargado de la gestión de carga implica desarrollar un programa de capacitación integral que aborde los aspectos técnicos y operativos de la gestión de carga. Esto incluye la formación en el uso de software de gestión de carga, el manejo de la infraestructura de carga, la resolución de problemas y las prácticas de seguridad.

6.2. Brindar capacitación sobre el uso de la infraestructura de carga y los sistemas de gestión implica impartir sesiones de capacitación y talleres prácticos para el personal involucrado en la operación y mantenimiento de la infraestructura de carga y los sistemas de gestión. Esto garantiza que el personal esté familiarizado con los procedimientos y protocolos de carga, así como con el funcionamiento de los equipos y software relevantes.

6.3. Establecer un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de carga y la infraestructura eléctrica implica desarrollar un programa de mantenimiento periódico que incluya inspecciones, limpieza, pruebas y ajustes regulares de los equipos de carga y la infraestructura eléctrica. Esto ayuda a prevenir fallas y asegura un funcionamiento óptimo y confiable del sistema de carga.

6.4. Realizar inspecciones regulares y mantenimiento correctivo según sea necesario implica llevar a cabo inspecciones programadas y realizar reparaciones o reemplazos cuando sea necesario para solucionar problemas o fallos identificados en la infraestructura de carga y los equipos relacionados. Esto asegura un mantenimiento adecuado y la corrección oportuna de cualquier anomalía que pueda afectar el rendimiento del sistema.

6.5. Capacitar al personal de mantenimiento en la detección y resolución de problemas técnicos significa proporcionar capacitación adicional al personal encargado del mantenimiento en la identificación y solución de problemas técnicos que puedan surgir en la infraestructura de carga y los equipos relacionados. Esto ayuda a mantener un equipo de mantenimiento competente y preparado para abordar cualquier eventualidad.

6.6. Evaluar periódicamente la eficacia del programa de capacitación y realizar ajustes si es necesario significa realizar evaluaciones regulares del programa de capacitación para determinar su efectividad y realizar mejoras o ajustes en función de los comentarios y resultados obtenidos. Esto garantiza que el programa de capacitación se mantenga actualizado y cumpla con los objetivos establecidos en términos de desarrollo de habilidades y conocimientos del personal.

3.2.4. Diagrama de Gestión de Carga

Ya definidas las tareas principales y específicas, podemos realizar un diagrama EDT que nos permitirá visualizar de manera jerárquica todas las actividades necesarias para la implementación del proyecto de gestión de carga para buses eléctricos. El EDT nos ayudará a comprender la estructura del proyecto, la secuencia de las tareas y las relaciones de dependencia entre ellas, lo que facilitará la planificación, asignación de recursos y seguimiento del avance del proyecto. A continuación, se muestra este diagrama:

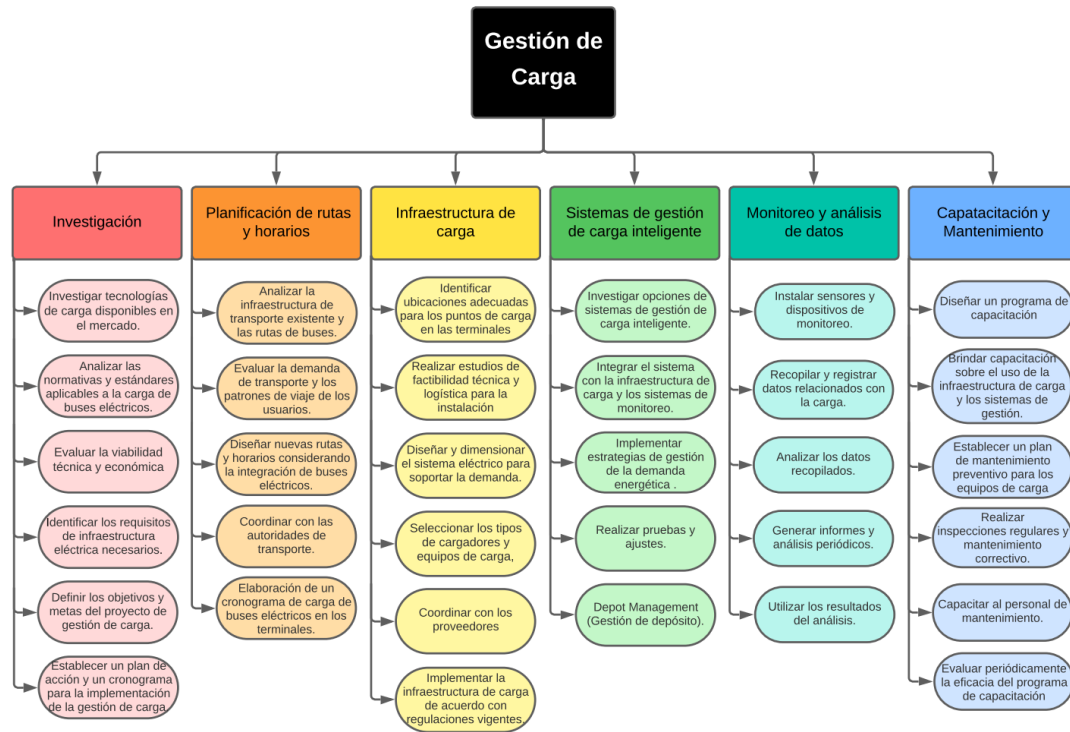


Figura 17: Diagrama EDT de la Gestión de Carga con cada una de sus tareas [elaboración propia].

3.3. Parámetros Técnicos de la Gestión de Carga

Con el estudio del Estado del Arte de la electromovilidad en el país, la encuesta que se realizó a Subus S.A., la metodología EDT e incorporando el documento [36], se puede hacer un análisis de cuáles son los parámetros técnicos que se tienen que considerar cuando hablamos de la gestión de carga de buses eléctricos. Estos parámetros técnicos los identificaremos como datos que se pueden obtener de fichas técnicas para los buses eléctricos e infraestructuras de carga, y para los sistemas de gestión de carga los manuales de usuario que indiquen las funcionalidades.

Cuando se aborda el tema de la gestión de carga, es necesario considerar todos los componentes que constituyen un sistema de transporte público eléctrico, a estos elementos se les puede identificar como la infraestructura de carga, los buses eléctricos y el software. De estos componentes, es fundamental adquirir conocimiento sobre diversas características importantes que deben ser tomadas en cuenta en la gestión de carga.

Primero para los buses eléctricos se necesita la siguiente información referida al sistema de almacenamiento de energía:

- Capacidad de almacenamiento total (kWh)
- Voltaje nominal del paquete de celdas (V).

- Capacidad máxima del paquete de celdas (Ah).
- Voltaje nominal de cada celda individual (V).
- Capacidad máxima de una celda (Ah).
- Masa de una celda individual (kg).
- Masa total del sistema incluyendo armazón y estructura, conexiones internas y sistema de refrigeración (si lo tiene) (kg).
- Mapa de resistencia eléctrica en función del estado de carga de la batería (ohm - % SOC).
- Corriente de descarga máxima sostenida (A).
- Corriente de descarga máxima instantánea (A).
- Corriente de carga máxima sostenida (A).
- Corriente de carga máxima instantánea pulso (A).
- Autonomía (km).

Respecto del motor debe presentar al menos la siguiente información:

- Tipo.
- Potencia nominal (kW).
- Potencia máxima (kW).
- Torque nominal (Nm).
- Torque máximo (Nm).

Respecto del vehículo se debe obtener al menos la siguiente información:

- Peso bruto vehicular (kg).
- Dimensiones externas (m).
- Dimensiones principales de los neumáticos (mm).

Para la infraestructura de carga necesitamos la información de:

- Fabricante y modelo.
- Tipo (DC carga lenta, rápida, o de oportunidad).
- Cumplimiento de Norma IEC 61851.
- Voltaje de entrada (V).
- Corriente de entrada (A).
- Frecuencia (50 Hz).
- Eficiencia del cargador (%).
- Tasa de falla del cargador (%).
- Voltaje de salida (V).
- Corriente de salida (A).
- Nivel de ruido (dB).
- Cumplimiento de Norma CCS2 para los enchufes.
- Protocolo de comunicación.
- Conectividad.
- Potencia de carga (kW).

- Potencia nominal (kW).
- Nivel de protección.
- Certificado de aptitud para operar en exteriores.

Empalme a red eléctrica:

- Demanda de energía eléctrica estimada para el depósito.
- Perfil horario de la demanda a partir del programa de recarga.
- Factibilidad eléctrica de cada depósito.
- Solución de factibilidad eléctrica para cada depósito.

Para el software de carga, depende del tipo de sistema de gestión de carga que se cotice para cada proyecto, sin embargo, este sistema debe considerar al menos los siguientes componentes:

- Toma de datos en el vehículo.
- Transmisión de datos.
- Plataforma de procesamiento de datos y respaldo.
- Despliegue de la información.

Otros características o funciones extras pueden el monitoreo de carga:

- Registro de datos de consumo de energía.
- Registro de datos de tiempo de carga.
- Seguimiento del estado de carga de las baterías.
- Alertas de sobrecarga o condiciones anormales.

Control de potencia:

- Gestión de la potencia de carga en función de la disponibilidad de energía.
- Control de la demanda de carga para evitar sobrecargas en la red eléctrica.
- Optimización de la potencia de carga en función de los recursos disponibles.

Tiempo de carga:

- Planificación y programación de los tiempos de carga de los buses.
- Estimación de la duración de la carga en función de la capacidad de las baterías.
- Ajuste de los tiempos de carga en función de la demanda y las necesidades operativas.

Gestión de la demanda energética:

- Estrategias para optimizar el uso de los recursos energéticos disponibles.
- Balanceo de la carga eléctrica entre los buses y otros consumidores.
- Control de la demanda máxima para evitar picos de consumo.

Depot Management (Gestión de depósito):

- Coordinación de la carga y descarga de buses en los terminales o depósitos.
- Gestión de los horarios y la asignación de los puntos de carga.
- Optimización de la logística y los recursos en el depósito.

Con esto, tenemos los parámetros técnicos a considerar cuando implementamos la gestión de carga de buses eléctricos. Estos parámetros abarcan tanto los aspectos relacionados con la infraestructura de carga, los buses eléctricos y el software de carga utilizado. Al considerar estos parámetros, se garantiza un adecuado funcionamiento y optimización del sistema de gestión de carga, asegurando la eficiencia en el proceso de carga de los buses, el monitoreo de las baterías, el control de potencia, el tiempo de carga y la gestión de la demanda energética. Además, se facilita la toma de decisiones basadas en datos y se promueve una operación más sostenible y eficiente de la flota de buses eléctricos. Estos parámetros técnicos son fundamentales para lograr una implementación exitosa de la gestión de carga en el contexto de la electrificación del transporte público.

4. Conclusiones

En este capítulo se presentan las conclusiones referentes al análisis técnico y operacional de la gestión de carga de los buses eléctricos en el transporte público. Donde dichas conclusiones se exponen a base de objetivos que se han desarrollado a lo largo de esta investigación y según diversos aspectos relacionados con la integración de sistemas de gestión de carga en el transporte público. Por último, se presentan recomendaciones a futuro.

4.1. Conclusión General

En este estudio, se ha llevado a cabo un análisis técnico y operacional de la gestión de carga para buses eléctricos en el transporte público, con el objetivo de comprender y abordar los desafíos asociados a esta área en constante evolución. Para lograrlo, se plantearon cuatro objetivos específicos: investigación bibliográfica, análisis del estado actual de la movilidad eléctrica, identificación de parámetros técnicos y propuesta de medidas para enfrentar los desafíos.

En primer lugar, se realizó una investigación bibliográfica a nivel nacional e internacional, para obtener una visión panorámica de los sistemas de gestión de carga de vehículos eléctricos existentes. Esto permitió recopilar información sobre las mejores prácticas, tecnologías y soluciones implementadas en otros contextos, que podrían ser aplicadas en el ámbito del transporte público.

A continuación, se analizó el estado actual de la movilidad eléctrica en el transporte público en la Región Metropolitana. Se investigaron las políticas, regulaciones y proyectos implementados hasta la fecha, así como los desafíos y oportunidades que enfrenta esta modalidad de un transporte eléctrico. Este análisis proporcionó una comprensión más clara del contexto local y permitió identificar áreas de mejora y enfoque.

En el tercer objetivo, se identificaron todos los parámetros técnicos a considerar para la integración de un sistema de gestión de carga en el modelo operacional de una flota de buses. Se examinaron aspectos como la capacidad de carga, la infraestructura necesaria, los estándares y protocolos de carga, los requisitos de seguridad, el monitoreo y análisis de datos, entre otros. Esta identificación detallada de parámetros técnicos proporcionó una base sólida para el diseño y la implementación de un sistema eficiente de gestión de carga.

Finalmente, se propusieron medidas para enfrentar los desafíos asociados a la gestión de carga de los buses eléctricos en el transporte público. Estas medidas incluyeron la planificación de rutas y horarios, la implementación de infraestructura de carga adecuada, la adopción de sistemas de gestión de carga inteligente, el monitoreo y análisis de datos, y la capacitación y mantenimiento del personal. Además, se destacó la importancia de la Estructura de desglose del trabajo (EDT) desarrollado específicamente para la gestión de carga, como una herramienta fundamental para organizar y coordinar las tareas involucradas.

En conclusión, a través del análisis realizado, se han obtenido conocimientos y propuestas concretas para mejorar la gestión de carga de los buses eléctricos en el transporte público. La integración de sistemas eficientes de gestión de carga, junto con la planificación adecuada, la infraestructura adecuada y la capacitación del personal, contribuirá a una transición exitosa hacia una movilidad eléctrica más sostenible y eficiente en la Región Metropolitana.

4.2. Conclusiones Específicas

A continuación, se presentan las conclusiones por cada objetivo específico.

4.2.1. Objetivo Específico 1

El primer objetivo corresponde a realizar una investigación bibliográfica nacional e internacional sobre sistemas de gestión de carga de vehículos eléctricos. Respecto de este objetivo, hemos llevado a cabo una exhaustiva investigación bibliográfica a nivel nacional e internacional sobre sistemas de gestión de carga de vehículos eléctricos. Durante este proceso, hemos recopilado información proveniente de diversas fuentes, incluyendo estudios científicos, informes técnicos y publicaciones de las mismas empresas que ofrecen estos sistemas de carga.

Esto nos ha permitido obtener una visión integral de los sistemas de gestión de carga disponibles en el mercado y las prácticas más destacadas en el ámbito de la movilidad eléctrica. Hemos explorado las diferentes tecnologías y enfoques utilizados para la carga de vehículos eléctricos, desde la carga lenta convencional hasta la carga rápida y la carga de oportunidad.

Además, hemos identificado diversos ejemplos de sistemas de gestión de carga implementados en diferentes contextos. Estos ejemplos han abarcado desde sistemas de carga en estaciones públicas hasta soluciones de carga inteligente en flotas de transporte público.

A nivel nacional, hemos identificado ejemplos de empresas como Enerlink y Ecocarga, que ofrecen sistemas de gestión de carga con funcionalidades como el monitoreo de autonomía, ajuste de potencia, horarios de carga y seguimiento del estado de cada punto de carga. Estos sistemas brindan a los usuarios información detallada y herramientas para optimizar la carga de sus vehículos eléctricos, maximizando la eficiencia y cuidando la vida útil de las baterías.

A nivel internacional, encontramos empresas como IVU Andina, Siemens, Delta y Schneider Electric, que ofrecen soluciones de gestión de carga más amplias y sofisticadas. Estos sistemas incluyen capacidades de planificación y optimización de la carga, integración con la red eléctrica, control automatizado y monitoreo en tiempo real del consumo de energía. Estas soluciones permiten una gestión más eficiente y coordinada de la carga de vehículos eléctricos en flotas de transporte público y entornos industriales.

En conclusión, la investigación bibliográfica realizada en el marco de este trabajo ha proporcionado una sólida base de conocimiento sobre los sistemas de gestión de carga de

vehículos eléctricos. Hemos adquirido una comprensión profunda de los diferentes enfoques, tecnologías y mejores prácticas en este campo. Estos conocimientos son fundamentales para el diseño e implementación exitosa de un sistema de gestión de carga eficiente y sostenible en el transporte público, y servirán como referencia para futuros estudios y proyectos relacionados con la movilidad eléctrica.

4.2.2. Objetivo Específico 2

El segundo objetivo corresponde a analizar el estado actual de la movilidad eléctrica en el transporte público en la Región Metropolitana. Se ha hecho un análisis en donde se ha obtenido una visión clara de los avances y desafíos que enfrenta esta tecnología en la actualidad.

En primer lugar, se ha observado un creciente interés y compromiso por parte de las autoridades y operadores de transporte público en la adopción de vehículos eléctricos. Se han implementado programas piloto y proyectos de electrificación de flotas, con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire en las ciudades.

El eje principal de esta conclusión se basa en el análisis de la "Estrategia Nacional de Electromovilidad" publicada por el Ministerio de Energía de Chile. Este documento representa un hito importante en el impulso de la movilidad eléctrica en el país y brinda una visión estratégica para el desarrollo y la implementación de políticas y acciones relacionadas con la electromovilidad.

La Estrategia Nacional de Electromovilidad establece metas ambiciosas para la incorporación de vehículos eléctricos en el transporte público, con el objetivo de alcanzar el 100% del transporte público urbano eléctrico al 2050. Además, se plantea la implementación de políticas públicas donde se establecen los lineamientos necesarios para alcanzar estas metas.

En conclusión, el análisis del estado actual de la movilidad eléctrica en el transporte público en la Región Metropolitana revela un panorama alentador, con avances significativos en la adopción de vehículos eléctricos y la expansión de la infraestructura de carga. Sin embargo, aún queda trabajo por hacer para superar los desafíos y aprovechar plenamente los beneficios de la movilidad eléctrica, incluyendo la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y la mejora de la calidad ambiental en nuestra ciudad.

4.2.3. Objetivo Específico 3

En el marco de este estudio, se ha logrado identificar y analizar todos los parámetros técnicos relevantes para la integración de un sistema de gestión de carga en el modelo operacional de una flota de buses eléctricos. Estos parámetros son fundamentales para asegurar un funcionamiento eficiente, seguro y coordinado del sistema de carga, y optimizar la operación de los buses eléctricos en el transporte público.

A través de la revisión de la literatura, la consulta de fuentes especializadas y el desarrollo de este trabajo, se ha recopilado una lista completa de los parámetros técnicos que deben ser considerados al implementar un sistema de gestión de carga. Estos incluyen aspectos como los tipos de cargadores, el cumplimiento de normas y estándares internacionales, los voltajes y corrientes de entrada y salida, la eficiencia y tasa de falla de los cargadores, los protocolos de comunicación, la potencia de carga, los niveles de protección, la conectividad, entre otros.

Asimismo, se ha determinado la importancia de contar con una infraestructura de carga adecuada, que cumpla con los estándares y normativas vigentes, y que sea capaz de satisfacer la demanda de energía eléctrica estimada para la flota de buses. La factibilidad eléctrica de cada depósito y la solución para su conexión a la red eléctrica han sido consideradas como aspectos clave en la integración del sistema de gestión de carga.

Es importante destacar que estos parámetros técnicos no solo son relevantes desde el punto de vista de la infraestructura de carga, sino que también influyen en la planificación y programación de la recarga de los buses eléctricos. La capacidad de monitoreo y gestión de los cargadores, como también la disponibilidad de información en tiempo real sobre el estado de carga de las baterías, son elementos esenciales para garantizar una operación eficiente y minimizar los tiempos de inactividad de los vehículos.

En resumen, la identificación de los parámetros técnicos necesarios para la integración de un sistema de gestión de carga en el modelo operacional de una flota de buses eléctricos es crucial para asegurar una carga eficiente y coordinada. Estos parámetros proporcionan las pautas y especificaciones necesarias para el diseño, implementación y operación de la infraestructura de carga, así como para la gestión de la energía y la programación de la recarga de los vehículos. Su correcta consideración y aplicación contribuirá a maximizar la eficiencia y el rendimiento de la flota de buses eléctricos en el transporte público.

4.2.4. Objetivo Específico 4

En el marco de este estudio, se han propuesto medidas concretas para enfrentar los desafíos asociados a la gestión de carga de los buses eléctricos en el transporte público. Estas medidas se centran en las principales tareas identificadas con el método EDT: investigación, planificación de rutas y horarios, infraestructura de carga, sistemas de gestión de carga inteligente, monitoreo y análisis de datos, y capacitación y mantenimiento.

En primer lugar, se destaca la importancia de llevar a cabo una investigación exhaustiva sobre sistemas de gestión de carga de vehículos eléctricos, tanto a nivel nacional como internacional. Esto permitirá identificar las mejores prácticas y soluciones innovadoras que puedan ser aplicadas en el contexto del transporte público.

La planificación de rutas y horarios es otra tarea esencial para optimizar la gestión de carga. Mediante un análisis detallado de la demanda y los patrones de uso de los buses eléctricos, se pueden determinar las rutas más eficientes y los horarios óptimos de carga, minimizando así los tiempos de espera y maximizando la disponibilidad de los vehículos.

La infraestructura de carga juega un papel fundamental en la gestión eficiente de la carga de los buses eléctricos. Es necesario establecer una red de estaciones de carga estratégicamente ubicadas, con capacidad suficiente para atender la demanda de la flota de buses. Además, se deben considerar los estándares y protocolos de carga, asegurando la compatibilidad de los puntos de carga con los vehículos.

La implementación de sistemas de gestión de carga inteligente es una medida clave para optimizar la distribución de la energía y evitar congestiones en las estaciones de carga. Estos sistemas permiten controlar la carga en tiempo real, considerando factores como la disponibilidad de energía, la demanda de los buses y las condiciones de la red eléctrica. La gestión de carga inteligente abarca un ciclo completo que va desde la carga de los buses, su operación en las rutas y el monitoreo de su nivel de batería, hasta la planificación y coordinación de la carga en el depósito. Esto permite maximizar la eficiencia energética, optimizar los recursos disponibles y garantizar un servicio de transporte eléctrico confiable y sostenible.

El monitoreo y análisis de datos desempeñan un papel importante en la gestión de carga de los buses eléctricos. Mediante la recopilación y análisis de información relacionada con el consumo de energía, los patrones de carga y el rendimiento de la flota, es posible identificar oportunidades de mejora y tomar decisiones informadas para optimizar la operación de los buses eléctricos.

Finalmente, la capacitación y el mantenimiento son aspectos críticos para garantizar un adecuado funcionamiento de los sistemas de gestión de carga. El personal encargado de la operación y mantenimiento de la infraestructura y los equipos de carga debe recibir capacitación adecuada, tanto en aspectos técnicos como en prácticas de seguridad. Asimismo, se deben establecer planes de mantenimiento preventivo y correctivo, para asegurar el funcionamiento óptimo de los sistemas de carga y prevenir posibles fallas.

La aplicación del método EDT en la propuesta de medidas para enfrentar los desafíos de gestión de carga aseguró una aproximación estructurada y sistemática, permitiendo una implementación más efectiva y una evaluación más precisa de los resultados obtenidos. Esta metodología contribuyó a la calidad y viabilidad de las medidas propuestas.

En resumen, la implementación de estas medidas propuestas, que abarcan desde la investigación hasta el mantenimiento, permitirá enfrentar los desafíos asociados a la gestión de carga de los buses eléctricos en el transporte público. Estas medidas contribuirán a maximizar la eficiencia operativa, reducir los costos y promover una transición exitosa hacia una movilidad eléctrica más eficiente.

4.3. Recomendaciones a Futuro

Para el objetivo de proponer medidas para la gestión de carga, la primera idea que se tuvo fue de realizar un modelo de gestión de carga, pero debido a la complejidad que esto implica se optó por otro método. Con lo anterior, sería interesante trabajar junto con alguna empresa de transporte, y centrarse en poder esquematizar un modelo de gestión de carga que maneje y controle todos los tiempos de carga en conjunto con la coordinación de buses en los puntos de carga, de tal manera que cumplan con el programa operacional del DPTM, este tambien debe incluir posibles problemas que surjan en la operación de los buses que afecten el programa operación. Se puede tambien utilizar herramientas como Github, Python, Slack, entre otras herramientas de creación de software.

Otro trabajo a futuro seria utilizar y guiarse con el EDT confeccionado en este trabajo, aplicarlo directamente en una empresa y comprobar su efectividad en todas las áreas que abarca este diagrama EDT.

5. Bibliografía

- [1] Trashorras, J. (2019). Vehículos eléctricos. Madrid: Ediciones Paraninfo, SA.
- [2] Electromovilidad (2022). Tipos de batería para coche eléctrico. <http://electromovilidad.net/tipos-de-bateria-para-coche-electrico/>
- [3] Ministerio de Energía de Chile. (s.f.). Plataforma de Electromovilidad. <https://energia.gob.cl/electromovilidad>
- [4] E-BUS-RADAR (2022). <https://www.ebusradar.org/es/>
- [5] Superintendencia de Electricidad y Combustibles SEC (2023) Sección de Electromovilidad. <https://www.sec.cl/electromovilidad/>
- [6] B. Yue, S. Shi, N. Lin, P. Guo, Z. Li, and Z. Zhang, “Study on the design method of driving cycle with road grade based on Markov chain model,” in Proc. IEEE Vehicle Power Propuls. Conf. (VPPC), Oct. 2015, pp. 1–5.
- [7] X. Wu, T. Jiang, J. Du, and C. Hu, “Comparison of different driving cycles control effects of an extended-range electric bus,” in Proc. IEEE Int. Conf. Meas., Inf. Control (ICMIC), vol. 2, Aug. 2013, pp. 1073–1076.
- [8] J. Wang, Y. Huang, H. Xie, and G. Tian, “Driving pattern recognition and energy management for extended range electric bus,” in Proc. IEEE Vehicle Power Propuls. Conf. (VPPC), Oct. 2014, pp. 1–6
- [9] R. Deng, Y. Liu, W. Chen and H. Liang, "A Survey on Electric Buses—Energy Storage, Power Management, and Charging Scheduling," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 22, no. 1, pp. 9-22, Jan. 2021, doi: 10.1109/TITS.2019.2956807.
- [10] S. Grolleau, A. Delaille and H. Gualous, "Predicting lithium-ion battery degradation for efficient design and management," 2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), Barcelona, Spain, 2013, pp. 1-6, doi: 10.1109/EVS.2013.6914799.
- [11] The Mobility House (2023). <https://www.mobilityhouse.com/>
- [12] Braga Muñoz A. (2020). Electrificación del transporte – buses eléctricos y el sistema de distribución. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/175421>
- [13] Tapia Plaza F. (2015). “Evaluación de sistema de gestión para mantenimiento y operaciones en flota de buses de transporte público”.

- [14] Subus Chile S.A. (2023). <https://subus.cl/>
- [15] Haugan, G. T. (2001). Effective work breakdown structures. Berrett-Koehler Publishers.
- [16] Kasunic, M. (2005). Designing an effective survey. Carnegie-Mellon Univ Pittsburgh PA Software Engineering Inst.
- [17] Ministerio de Energía (2021). Estrategia Nacional de Electromovilidad.
- [18] Asociación Nacional Automotriz de Chile ANAC (2023). <https://www.anac.cl/>
- [19] T. Paul and H. Yamada, "Operation and charging scheduling of electric buses in a city bus route network," 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Qingdao, China, 2014, pp. 2780-2786, doi: 10.1109/ITSC.2014.6958135.
- [20] Niño Barrero, D. (2021). Efectos del Transporte Eléctrico Público sobre las redes de distribución.
- [21] Perumal, S. S., Lusby, R. M., & Larsen, J. (2022). Electric bus planning & scheduling: A review of related problems and methodologies. *European Journal of Operational Research*, 301(2), 395-413
- [22] Yadlapalli, R. T., Kotapati, A., Kandipati, R., & Koritala, C. S. (2022). A review on energy efficient technologies for electric vehicle applications. *Journal of Energy Storage*, 50, 104212.
- [23] Tadorelli, M. (2022, 24 octubre). Cifras en ascenso: Chile alcanzaría casi 8 mil vehículos electrificados vendidos en 2023 - Portal Movilidad: Portal Movilidad: Noticias sobre vehículos eléctricos. <https://portalmovilidad.com/cifras-en-ascenso-chile-alcanzaria-casi-8-mil-vehiculos-electrificados-vendidos-en-2023/>
- [24] Directorio de Transporte Publico Metropolitano DTPM (2021). Informe de Gestión 2021.
- [25] Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Gobierno de Chile. (s.f) <http://www.mtt.gob.cl/>
- [26] Becerra, L. (2022). Costo total de propiedad: Buses eléctricos en el nuevo modelo de negocios del transporte público de Santiago de Chile.
- [27] Enel X Chile. (s. f.). <https://www.enelx.com/cl/es>
- [28] Enerlink (2023) <https://www.enerlink.com/>

- [29] IVU traffic Technologies (s.f.) <https://www.ivuandina.com/destacados/electromovilidad>
- [30] Siemens AG (s.f.) <https://www.siemens.com/global/en/products/energy/medium-voltage/solutions/emobility/ebus-depot/evdepot-digital.html>
- [31] Delta electronics (s.f) Industrial Energy Management System DIAEnergie.
- [32] Scheider Electric (2023). eMobility solutions Building the future of all-electric mobility Catalog 2023.
- [33] Andes Motor (s.f.), Ficha Técnica Foton e-bus U12.
- [34] Randhahn, A., Knot, T. (2020). Deployment of Charging Infrastructure for Battery Electric Buses. In: Müller, B., Meyer, G. (eds) Towards User-Centric Transport in Europe 2. Lecture Notes in Mobility. Springer, Cham.
- [35] Jahic, Amra & Plenz, Maik & Eskander, Mina & Schulz, Detlef. (2021). Route Scheduling for Centralized Electric Bus Depots. IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems.
- [36] Marcela Castillo, Sebastián Galarza, Gianni López & Ariel Núñez (2020). Requisitos técnicos para bases de licitación y operadores de flotas de buses eléctricos del transporte público de Santiago de Chile: Infraestructura, equipamiento, y gestión de carga.