



21 DE MAYO DE 2024

Informe Final

Impacto del Desarrollo del Transporte Público Eléctrico sobre el Sistema Eléctrico Chileno



ÍNDICE



ÍNDICE

PRÓLOGO	6
1. INTRODUCCIÓN	8
2. OBJETIVOS.....	10
3. PANORAMA INTERNACIONAL.....	12
3.1 Estados Unidos y Canadá [16.1,16.5]	13
3.2 Europa [16.1,16.6].....	15
3.3 China [16.8]	16
3.4 Latinoamérica [16.9]	17
4. ESTRATEGIA NACIONAL DE ELECTROMOVILIDAD [16.1,16.2,16.3]	18
4.1 El Marco General.....	19
4.2 Hitos e implementación de la Estrategia Nacional de Electromovilidad.....	22
4.3 Hoja de Ruta para el Avance de La Electromovilidad en Chile	26
5. NÚMERO DE BUSES Y NORMA NACIONAL	34
5.1 Número de buses en Chile [16.10,16.11,16.12]	35
5.2 Características técnicas de los buses	36
5.2.1 Estándares Chilenos [16.13].....	36
6. DESPLIEGUE ACTUAL DE BUSES ELÉCTRICOS EN CHILE.....	37
6.1 Región Metropolitana.....	38
6.1.1 Número de buses eléctricos de la RM.....	38
6.1.2 Información técnica de presentación de Licitación 2023	38
6.2 Situación en Regiones	39
7. ASPECTOS TÉCNICOS DE BUSES ELÉCTRICOS BATERÍAS Y CARGADORES	40
7.1 Oferta de buses eléctricos [16.13].....	41
7.2 Características técnicas de baterías de litio [16.14,16.15,16.16]	43
7.2.1 Baterías de Ion litio [16.14]	43
7.3 Ciclos de carga.....	43
7.4 Tipos de carga [16.16]	44
7.5 Tipos de cargadores	45
8. DIMENSIONAMIENTO DE FLOTAS	47
8.1 Modelo de dimensionamiento.....	48
9. RESULTADOS DE DIMENSIONAMIENTO	49
9.1 Número de terminales de carga y recorridos diarios.....	54
10. REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA.....	56
10.1 Supuestos basales.....	57
10.2 Requerimientos de energía sin admisión de carga de oportunidad.....	57
10.2.1 Resultados para recorrido de 10 Km en un sentido.....	58
10.2.2 Resultados para recorrido de 20 Km en un sentido.....	62
10.2.3 Resultados para recorrido de 30 Km en un sentido	66
10.3 Energía para ciclo de uso entre 80% y 20% con carga de oportunidad	70
10.3.2 Resultados para recorrido de 20 Km en un sentido	72
10.3.3 Resultados para recorrido de 30 Km en un sentido	72

11. INFRAESTRUCTURA DE CARGA	73
11.1 Supuestos basales.....	74
11.1.1 Régimen de uso del 100% de capacidad de la batería.....	74
11.1.1.1 Caso 1: un terminal de carga en el recorrido.....	74
11.1.1.2 Caso 2: un terminal de carga en cada extremo del recorrido.....	77
11.2 Resultados para recorrido de 20 Km en un sentido.....	80
11.2.1 Régimen de uso del 100% de capacidad de la batería.....	80
11.2.1.1 Caso 1: un terminal de carga en el recorrido.....	80
11.2.1.2 Caso 2: un terminal de carga en cada extremo del recorrido.....	83
11.3 Resultados para recorrido de 30 Km en un sentido.....	86
11.3.1 Régimen de uso del 100% de capacidad de la batería.....	86
11.3.1.1 Caso 1: un terminal de carga en el recorrido.....	86
11.3.1.2 Caso 2: un terminal de carga en cada extremo del recorrido.....	89
12. IMPACTO SOBRE LA RED ELÉCTRICA	92
12.1 Impacto de recorridos autónomos.....	93
12.2 Impacto sobre la red en la Región Metropolitana.....	96
12.2.1 Resumen de informe de gestión DTPM 2022 [16.12].....	96
12.2.2 Estimación de la demanda para flota completa de 6452 buses.....	98
12.2.2.1 Estimación de la demanda agregada y de terminales recorrido 10 Km en un sentido.....	98
12.2.2.2 Estimación de la demanda agregada y de terminales recorrido 20 Km en un sentido.....	100
12.2.2.3 Impacto en la Demanda de Potencia.....	102
12.2.3 Estimación de la demanda para flota de 1200 buses.....	102
12.2.3.1 Estimación de la demanda agregada y de terminales recorrido 10 Km en un sentido.....	102
12.2.3.2 Estimación de la demanda agregada y de terminales recorrido 20 Km en un sentido.....	104
12.2.3.3 Impacto en la Demanda de Potencia.....	106
12.3 Impacto sobre la red en las principales ciudades de Regiones.....	107
12.3.1 Ciudades con demandas altas.....	111
13. CONDICIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	112
13.1 Forma de curva de carga.....	113
13.2 Energía Limpia.....	119
13.3 Instalación de paneles fotovoltaicos en el terminal.....	119
13.4 Redundancia de infraestructura.....	123
13.5 Seguridad de servicio.....	123
14. CONCLUSIONES	124
14.1 Panorama Internacional.....	125
14.2 La Situación en Chile.....	126
14.3 Modelo de Dimensionamiento.....	127
14.4 Resultados de dimensionamiento.....	129
14.5 Requerimientos de energía.....	131
14.6 Infraestructura de Carga Terminales Monoservicio.....	134
14.7 Infraestructura de Carga Terminales Multiservicio.....	136
14.8 Impacto sobre la red eléctrica.....	140
14.9 Condiciones de suministro eléctrico.....	144
15. ANEXO: DEMANDA DE TERMINALES POR CIUDAD EN REGIONES	150

16. REFERENCIAS	170
16.1 Source: https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_electromovilidad-8dic-web.pdf	171
16.2 Source: https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia-nacional-electromovilidad_ministerio-de-energia.pdf	171
16.3 Source: https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/hoja_de_ruta_para_el_avance_de_la_electromovilidad_en_chile_acciones_concretas_al_2026.pdf	171
16.4 Source: https://electrek.co/2023/02/04/us-zero-emission-transit-buses-2022/	171
16.5 Source: https://www.imarcgroup.com/united-states-electric-bus-companies	171
16.6 Source: https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/europe-electric-bus-market	171
16.7 Source: https://mobilityportal.lat/top-3-los-lideres-del-mercado-de-buses-electricos-en-europa/	171
16.8 Source: https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/china-electric-bus-market	171
16.9 Mobility Portal Latinoamérica: https://mobilityportal.lat/	171
16.10 Nuria Hartmann, In-Data SpA: Consultoría para Catastro de Terminales y/o Depósitos de Buses para el Transporte Público Urbano, preparado para la Agencia de Sostenibilidad Energética. (18.06.2021).....	171
16.11 Source: https://www.gob.cl/noticias/chile-confirma-la-segunda-mayor-flota-de-buses-electricos-del-mundo/#:~:text=Chile%20sobrepasa%20los%20%20mil%20buses%20el%C3%A9ctricos%20en%20el%20sistema,31%25%20de%20la%20flota%20capitalina	171
16.12 Informe Técnico de Gestión. Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM).....	171
16.13 DS 122 del 18-06-1991: Reglamento que Fija Requisitos Dimensionales y Funcionales a Vehículos que Presten Servicios de Locomoción Colectiva Urbana. Versión 05/04/2023.....	171
16.14 Source: https://toyota-forklifts.es/soluciones/soluciones-energeticas/baterias-de-litio-toyota/	171
16.15 Source: https://bmz-group.com/index.php/en/bmz-company/tests-en-2	171
16.16 Source: https://dilarce.com/blog/energia/carga-convencional-vs-carga-de-oportunidad/	171



PRÓLOGO

PRÓLOGO

A fines de 2023, el Comité Chileno de Cigré aprobó la formación del Grupo de Trabajo WG C6 para estudiar la modernización de la distribución de energía eléctrica en Chile y su marco regulatorio.

Con Pedro Miquel como Coordinador Nacional y el liderazgo de Aniella Descalzi y Sergio Barrientos, este grupo se enfocó en tres áreas clave: la modernización del sector energético, las mejoras en la calidad del servicio promoviendo la sostenibilidad mediante el uso de recursos energéticos distribuidos (DERs) y el impacto de la electromovilidad sobre el sistema eléctrico.

En el ámbito de la modernización del sector energético, se está realizando un diagnóstico exhaustivo del marco regulatorio actual de la distribución de energía eléctrica en Chile con el fin de proponer medidas para modernizar el actual modelo de remuneración, evaluar el impacto de la infraestructura avanzada de medición (AMI), investigar estrategias de comercialización y explorar nuevos modelos de negocio emergentes.

En cuanto a las mejoras en la calidad del servicio, se revisaron experiencias internacionales y casos prácticos para implementar soluciones efectivas en Chile. Se están explorando, además, opciones para mejorar la resiliencia de los sistemas de distribución y su respuesta ante emergencias, así como la planificación de sistemas de distribución en interacción con la transmisión. También se propondrán mecanismos para incorporar de manera efectiva los recursos energéticos distribuidos, que incluyen la generación distribuida, el almacenamiento de energía, respuesta a la demanda y los vehículos eléctricos. El enfoque de este trabajo es crear un sector eléctrico enfocado en los clientes, más moderno, eficiente y alineado racionalmente con los objetivos climáticos, con señales de precios transparentes y tarifas justas para los clientes finales. La colaboración activa de todos los miembros del grupo fue esencial para alcanzar estos objetivos y contribuir a la modernización y sostenibilidad del sector energético en Chile.

El tercer tema aborda cómo el transporte público eléctrico y la electromovilidad en general afectan el sistema eléctrico chileno. Se analizan las necesidades de demanda, infraestructura, transporte y distribución, así como la gestión de energía para los futuros vehículos eléctricos, asegurando que el sistema eléctrico pueda admitir esta transición.

El presente documento dedicado al transporte público eléctrico, bajo el título de **Informe de Impacto del Desarrollo del Transporte Público Eléctrico sobre el Sistema Eléctrico Chileno**, a través de sus diez capítulos, muestra con detalle cada uno de los temas analizados y sus principales conclusiones.

Se presenta a través del texto, la versión final del trabajo desarrollado por Pedro Miquel más los valiosos e innumerables aportes de Juan Carlos Urbina, Diego Fernández, Aniella Descalzi, Eduardo Andrade y Patricio Celis.

Las actividades del grupo se llevaron a cabo con la colaboración activa de todos sus miembros, quienes participaron en reuniones periódicas para revisar avances y ajustar estrategias según fuera necesario. El objetivo final es consolidar un informe final del WG completo a fines de 2024, que reflejará las conclusiones y recomendaciones del grupo para la modernización y sostenibilidad de segmento de distribución de energía eléctrica en Chile.

La colaboración y el compromiso de todos los participantes han sido fundamentales para el éxito de este grupo de trabajo y de esta forma alcanzar los objetivos propuestos.



T

Chile

—

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el transporte público compuesto por autobuses diésel están activamente siendo reemplazados por buses eléctricos. Para 2030, se espera que los precios de los autobuses eléctricos sean comparables con los de combustible diésel. Los autobuses eléctricos reducen el 81-83% de los costos de mantenimiento y operación propios de un autobús con motor diésel.

En las economías desarrolladas la evidencia demuestra que el reemplazo es un proceso irreversible ya en marcha.

En los Estados Unidos el estado con la flota más grande de autobuses eléctricos y de celdas de combustible es California, que exige que las nuevas ventas de autobuses de tránsito sean de emisión cero para 2030. La costa oeste, incluyendo Oregón y Washington, representa el 41% de todos los autobuses de emisión cero del país.

En Europa el 75% de todos los autobuses de transporte urbano vendidos deberán cero emisiones el 2030. Es más el Reglamento de Estándares de CO₂ de la Unión Europea establece que al 2035 el 100% de los autobuses deben ser cero emisiones.

China es el líder mundial en transporte público eléctrico, cerca del 90% de los buses eléctricos en servicio del orbe están en ese país. En 2018, Shenzhen se convirtió en la primera ciudad del mundo en tener una flota de autobuses públicos totalmente eléctricos. Otro punto claro que contribuye al dominio de China en el sector de los vehículos eléctricos es su estrategia de proximidad geográfica. La región de Asia-Pacífico, por ejemplo, fue el mayor mercado externo de autobuses eléctricos en 2022 (105.021 unidades). En Corea del Sur los autobuses chinos representaron aproximadamente la mitad del mercado. Además, a partir de 2022, el gigante chino BYD produciría aproximadamente el 70% de los autobuses eléctricos de Japón.

En Latinoamérica se observan distintas realidades, los países con mayor avance son Chile y Colombia, con énfasis en el despliegue de buses eléctricos en sus respectivas capitales.

Chile ha establecido el compromiso de alcanzar la carbono neutralidad para el año 2050. Un pilar estratégico para alcanzar tal objetivo es la electromovilidad. **La Estrategia Nacional de Electromovilidad**, política pública promulgada en 2017, estableció dos metas de largo plazo: alcanzar el 40% de vehículos particulares y 100% del transporte público urbano eléctricos al 2050. La actualización a 2021 de la Estrategia Nacional de Electromovilidad estableció que:

1. El 100% de las nuevas incorporaciones al transporte público urbano serán vehículos cero emisiones al año 2035. Lo mismo para las ventas de vehículos livianos y medianos.
2. El 100% de las ventas de vehículos para el transporte de pasajeros interurbano y transporte terrestre de carga sean cero emisiones al año 2045.
3. Además, el 100% de las ventas de maquinaria (minera, forestal, construcción y agrícola) de más de 560 kW de potencia será cero emisiones a partir del año 2035, y de más de 19 kW a partir del año 2040.

Considerando las tecnologías actualmente disponibles en el mercado, lo anterior significa que el uso de buses eléctricos con almacenamiento de energía en baterías en el corto plazo o impulsados por hidrógeno mediante celdas de combustible como alternativa de largo plazo, serán los elementos a emplear para el transporte público nacional. Ambas opciones requieren del uso intensivo de energía eléctrica y esa es la razón principal para el desarrollo del presente estudio.



2

—

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

Vista la importancia del transporte público eléctrico en la Estrategia Nacional de Electromovilidad de nuestro país, el objetivo principal de este estudio es analizar el impacto que produce la demanda de energía eléctrica de las flotas de buses sobre la infraestructura de transporte y distribución del sistema eléctrico.

Son objetivos específicos de este trabajo los que se indican a continuación:

- Entendimiento del estado del arte del desarrollo del transporte público eléctrico a nivel internacional.
- Analizar las prioridades y objetivos para el transporte público eléctrico establecidos en la Estrategia Nacional de Electromovilidad.
- Comprenderse de las normas chilenas que aplican a los buses en general.
- Conocer la oferta de los fabricantes de buses eléctricos y sus características técnicas, incluyendo los cargadores de baterías disponibles.
- Desarrollar un modelo que permita determinar el tamaño de los terminales y las flotas de buses, considerando condiciones de borde tales como distancia de recorrido, número de paradas por kilómetro, velocidad de circulación, tiempo de detención para atención de pasajeros, etc.
- Empleando el modelo para situaciones típicas, determinar el tamaño de la flota de buses, la demanda de potencia y energía eléctrica de los terminales.
- Establecer los requerimientos de diseño básico de los terminales, considerando la relación que existe entre la capacidad de las baterías, el régimen de carga y los tiempos de carga.
- Despejar la magnitud de demanda agregada que el servicio de transporte eléctrico público impone al sistema eléctrico. Se analiza la situación de la región metropolitana y las demás regiones por separado. En este último caso se analiza lo que ocurre en las principales ciudades.
- En función del número de buses que atiende un terminal definir si el diseño requiere de una conexión en alta o en media tensión a la red.
- Entregar algunas recomendaciones respecto de la redundancia de la infraestructura del terminal y las providencias que deben adoptarse en cuanto a seguridad de suministro para asegurar la continuidad del servicio de transporte.

PANORAMA INTERNACIONAL



3. PANORAMA INTERNACIONAL

Para 2030, se espera que los precios de los autobuses eléctricos bajen a los de los autobuses de combustible diésel. Los autobuses eléctricos ayudan a reducir el 81-83% de los costos de mantenimiento y operación en comparación con un autobús con motor diésel.

Para entender el despliegue de flotas de buses eléctricos en el globo, a continuación se presenta un resumen del estado del arte en distintas regiones del mundo.

3.1 Estados Unidos y Canadá [16.1,16.5]

El mercado de autobuses eléctricos de EE. UU. experimentó un aumento del 66 % desde 2021. En septiembre de 2022, el recuento total de autobuses de transporte eléctricos de batería (BEB) y de celda de combustible (FCEB) de tamaño completo alcanzó los 5,480 (fueron 3,297 en 2021). Los datos se informan en el informe anual CALSTART Zeroing in on ZEB, que proporciona un índice actualizado de ZEB (Zero Emission Bus) adoptados que han sido financiados, pedidos y/o entregados dentro de los Estados Unidos y Canadá según los datos recopilados hasta septiembre de 2022.

Tabla 1: Crecimiento N° Buses eléctricos (BEB) y de Celdas de Combustible (FCEB)

Bus Type	2021	2021	Increase 2021 to 2022	2021
BEB	3,168	5,269	2,101	66%
FCEB	129	211	82	64%
TOTAL ZEBs	3,297	5,480	2,183	66%

Fuente: CALSTART

California, un estado donde todas las nuevas ventas de autobuses de tránsito deben ser de cero emisiones para 2030, de conformidad con la regulación Innovative Clean Transit (ICT), tiene la mayor cantidad de ZEB del país con 1,977 vehículos.

La costa oeste en general, incluidos California, Oregón y Washington, representa el 41% de las ZEB en todo el país. Nueva York sigue detrás de California con 489 autobuses en total.

Otros estados, incluidos Arizona, Massachusetts, Vermont y Maine, duplicaron su recuento en el último año. Como indica el informe, "Arizona y Massachusetts experimentaron los mayores aumentos interanuales: 280% y 271%, respectivamente". El sureste y suroeste de Estados Unidos, encabezados por Florida y Texas, mostraron fuertes aumentos en el número de autobuses de tamaño completo con cero emisiones, lo que indica que estas regiones han acelerado el ritmo de adopción en comparación con años anteriores

3.2 Europa [16.1,16.6]

A 2021, la demanda de autobuses eléctricos en Europa ha aumentado dramáticamente en la última década. Los factores que están impulsando la demanda de autobuses eléctricos (EB) en Europa son las estrictas regulaciones de emisiones, la alta dependencia de combustibles convencionales o no renovables, una fuerte ética ambiental y la creciente necesidad de integrar las energías renovables en una red.

Al respecto hay algunos desafíos, como cargar una gran cantidad de EB es el impacto potencial en la red y en las baterías, la carga simultánea de una flota de EB podría conducir a un tremendo pico de alta potencia, el sobredimensionamiento de las infraestructuras, el equipo y la suscripción al suministro de la red podrían generar costos adicionales.

Los principales mercados europeos de autobuses eléctricos incluyen el Reino Unido, los Países Bajos, Noruega, Luxemburgo y Polonia. El Reino Unido y otros países de Europa Central están actualizando su flota con autobuses de bajas o cero emisiones y modernizando los autobuses antiguos con trenes motrices de bajas emisiones. Las flotas de autobuses urbanos deberían hacer una transición en gran medida a la energía eléctrica para 2030, respaldadas por el objetivo propuesto de autobuses eléctricos del 75% de todos los autobuses vendidos en Europa para ese año.

A octubre de 2022, según los datos recopilados por Chatrou CME Solutions [16.6], el total de autobuses urbanos libres de emisiones en Europa actualmente alcanza las 10.271 unidades EB. Encabeza la lista Reino Unido que posee una flota de 1.500 autobuses eléctricos, Alemania por su parte, mantiene su lugar en el ranking con 1.474 y Holanda lo persigue con 1.412 autobuses eléctricos.

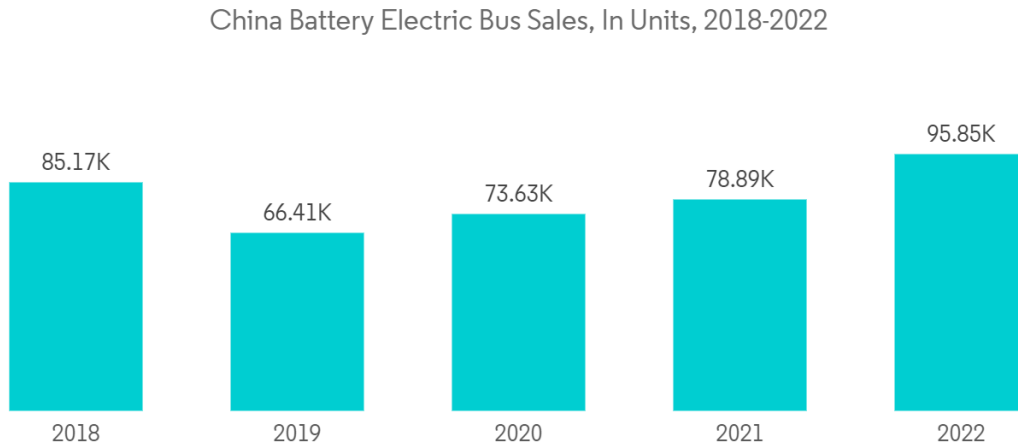
Varios países de la región europea han tomado medidas para hacer la transición de su flota de transporte público a vehículos impulsados por combustible de hidrógeno para cumplir con sus propios objetivos de emisiones. Por ejemplo. En junio de 2020, Alemania adoptó la Estrategia Nacional del Hidrógeno después de la aprobación de su gabinete federal. La política extiende una inversión total de 7 mil millones de euros por parte del país para aumentar la flota de transporte público existente a las tecnologías de hidrógeno en el futuro.

Los principales proveedores de buses en Europa son: Solaris, Dutch VDL Bus & Coach, BYD/Alexander Dennis, Volvo Buses, IVECO SpA, TRATON GROUP, Yutong y Mercedes Benz.

3.3 China [16.8]

China es un jugador clave en el mercado mundial de autobuses eléctricos y alberga el 98% de los autobuses eléctricos del mundo. En marzo de 2021, más de 421.000 autobuses eléctricos estaban en uso en China, lo que equivale a aproximadamente el 99.0% de la flota mundial. En la Figura 2 se ilustra el número de unidades vendidas entre 2018 y 2022. Se espera que la expansión de los autobuses eléctricos de China continúe, con 420.000 autobuses eléctricos adicionales ordenados para 2025.

Figura 2: Número de Buses Eléctricos Vendidos 2018 - 2022



Source: Mordor Intelligence



Shenzhen y Guangzhou son ciudades líderes en flotas de autobuses totalmente eléctricos. Se espera que más de 30 ciudades chinas hagan lo mismo en los próximos años, incluidos Zhuhai, Dongguan, Foshan y Zhongshan en el delta del río Perla, junto con Nanjing, Hangzhou, Shaanxi y Shandong. Es probable que la rápida expansión de la infraestructura de carga de autobuses eléctricos en todo el país apalanque ese gran crecimiento.

El mercado de autobuses eléctricos de China está dominado por varios actores clave como Anhui Ankai Automobile Co. Ltd, BYD Company Limited, Zhengzhou Yutong Group Co. Ltd. Scania AB, Xiamen King Long Automotive Industry Co. Ltd. y Zhongtong Bus Holding Co. Ltd. (ordenados alfabéticamente).

3.4 Latinoamérica [16.9]

En Latinoamérica, a octubre de 2023 según [16.9], la situación es la que se muestra a continuación en la Tabla 2. Al interpretar los resultados se concluye Chile es el país con más buses eléctricos en la región seguido por Colombia. Se aprecia también que los buses se concentran en las ciudades más grandes.

Tabla 2: Número de buses eléctricos en Latinoamérica

BUSES	CIUDAD	Nº BUSES	TOTAL PAÍS
Argentina	Mendoza	18	99
	Córdoba	45	
	Rosario	32	
	San Juan	4	
Barbados			49
Brasil	Sao Paulo	219	394
	Salvador	20	
	Santos	7	
	Otras	148	
Chile	Santiago	3502	3532
	Valparaiso	30	
Colombia	Bogotá	1489	1589
	Cali	35	
	Medellín	65	
Ecuador	Guayaquil	20	106
	Quito	85	
	Santa Cruz	1	
México	Ciudad de México	560	623
	Guadalajara	63	
Paraguay	Asunción	22	22
Perú	Lima	4	4
Uruguay	Montevideo	31	36
	Canelones	5	
Venezuela	Mérida	45	45
TOTAL LATAM			6499

An aerial photograph of Santiago, Chile, showing a dense urban landscape with numerous high-rise buildings and a winding river. The city is set against a backdrop of mountains under a hazy sky. A large, white, semi-transparent number '4' is overlaid on the right side of the image.

4

**ESTRATEGIA
NACIONAL DE
ELECTROMOVILIDAD**

4. ESTRATEGIA NACIONAL DE ELECTROMOVILIDAD [16.1,16.2,16.3]

4.1 El Marco General

El establecimiento del compromiso de alcanzar la carbono neutralidad para el año 2050 sin dudas es una meta muy ambiciosa que refleja el compromiso de nuestro país con la sostenibilidad ambiental y la lucha contra el cambio climático.

Esto implica enfrentarnos al desafío de reducir las emisiones de CO₂ en varios sectores. En cifras del año 2021, el sector transporte en Chile representaba una participación del 35,5% de la energía secundaria total demandada, proveniente principalmente de derivados del petróleo (98,9%), generando un gran impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel nacional, siendo responsable del 25,5% de estas emisiones. Además, el 86,4% del consumo de este sector está asociado al transporte terrestre.

Para alcanzar la carbono neutralidad, es imperativo abordar la reducción significativa de estas emisiones lo que implica promover la adopción de vehículos eléctricos, el desarrollo de la infraestructura de carga asociada, la mejora de la eficiencia de los combustibles fósiles, la promoción del transporte público sostenible y la implementación de políticas que fomenten el uso compartido de vehículos y la movilidad activa.

Cabe recordar que Chile no produce petróleo y prácticamente la totalidad de los requerimientos de combustibles de origen fósil implican un monto anual significativo de recursos económicos en importaciones con la consecuente dependencia energética del país de fuentes externas.

En este contexto, Chile se ha impuesto metas para mejorar el uso de la energía en el sector transporte y disminuir la intensidad de emisiones GEI del mismo. Por lo anterior, transformar el transporte es fundamental para lograr los desafiantes objetivos de la carbono neutralidad y desempeñar un papel significativo en la lucha global contra el cambio climático.

La transición hacia vehículos eléctricos presenta una oportunidad significativa tanto para Chile como para el mundo en la búsqueda de alcanzar metas de sostenibilidad ambiental. Los vehículos eléctricos ofrecen varios beneficios clave que los hacen atractivos en este contexto:

Eficiencia energética:

Los vehículos eléctricos pueden ser 5 a 7 veces más eficientes en términos energéticos en comparación con los vehículos de combustión interna, lo que significa que pueden recorrer distancias más largas con la misma cantidad de energía.

Menor costos de mantención:

Los vehículos eléctricos requieren de menores costos de mantenimiento y la reducción es de hasta 75% aproximadamente, comparados con los costos de mantenimiento de los vehículos de combustión interna en gran parte por la reducción de componentes de los vehículos.

Menor costos de operación:

Costo de la electricidad es alrededor de 8 veces menor que el de los combustibles fósiles.

Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI):

Los vehículos eléctricos no producen gases derivados de la combustión. Además, tienen potencial de disminuir aún más sus emisiones si se alimentan con energía de fuentes renovables, como la energía hidroeléctrica, solar o eólica, los vehículos eléctricos por lo que contribuyen aún más a reducir las emisiones de GEI en comparación con los vehículos de combustión interna.

Reducción de contaminantes locales:

Los vehículos eléctricos no emiten contaminantes locales como los vehículos de combustión interna, lo que ayuda a mejorar la calidad del aire, especialmente en zonas urbanas con alta exposición a la contaminación.

Reducción de ruido:

Los vehículos eléctricos son más silenciosos que los vehículos de combustión interna, lo que contribuye a reducir la contaminación acústica en áreas urbanas y mejora la calidad de vida de los residentes.

Mayor demanda de cobre:

Los vehículos eléctricos demandan entre 2 y 5 veces más cobre que un automóvil de combustión interna convencional.

Además, la rápida evolución tecnológica y reducción de precios de las baterías está haciendo que los vehículos eléctricos sean cada año más asequibles, con mayor autonomía y tiempos de carga más rápidos, lo que los convierte en una opción cada vez más atractiva para los consumidores.

Es importante destacar que varios países y fabricantes de automóviles están tomando medidas significativas para promover la adopción de vehículos eléctricos, incluyendo prohibiciones de venta de vehículos de combustión interna en el futuro cercano. Esto indica un claro impulso hacia la electrificación del transporte a nivel mundial.

La adopción de vehículos eléctricos no solo tiene impactos ambientales y energéticos, sino también en la movilidad en general. A medida que avanzamos hacia una mayor electrificación del transporte, surgen nuevas oportunidades y desafíos en términos de cómo nos movemos y cómo se organiza el espacio vial y ya se vislumbran avances tecnológicos importantes:

Vehículos autónomos conectados:

La tecnología de vehículos autónomos está en constante desarrollo y promete cambiar radicalmente la forma en que nos desplazamos. Los vehículos eléctricos pueden ser una parte importante de esta revolución, ya que los sistemas de propulsión eléctrica pueden integrarse más fácilmente con la tecnología autónoma. Esto podría conducir a una movilidad más segura, eficiente y conveniente en el futuro.

Internet de las cosas (IoT):

La conectividad de los vehículos eléctricos con el IoT puede mejorar la eficiencia del transporte al permitir una gestión más inteligente del tráfico, la optimización de rutas y la coordinación entre vehículos y la infraestructura de carga. Esto puede ayudar a reducir la congestión, optimizar la carga de los vehículos eléctricos y mejorar la experiencia de viaje para los usuarios.

Espacio vial:

Aunque los vehículos eléctricos tienen ventajas ambientales y energéticas, ocupan el mismo espacio vial que los vehículos convencionales. Es importante considerar cómo gestionar eficientemente el espacio vial para garantizar una movilidad fluida y segura. Esto puede implicar políticas que fomenten el uso compartido de vehículos, la promoción de modos de transporte alternativos como el transporte público y la micromovilidad, y la planificación urbana inteligente que priorice el espacio peatonal y ciclista.

Si bien los vehículos eléctricos ofrecen beneficios significativos en términos de eficiencia energética y reducción de emisiones, es importante considerar también su impacto en la movilidad urbana en su conjunto. Esto requiere un enfoque integral que abarque tanto la tecnología de los vehículos como la planificación urbana y las políticas de transporte.

4.2 Hitos e implementación de la Estrategia Nacional de Electromovilidad

La Estrategia Nacional de Electromovilidad de Chile forma parte de un esfuerzo amplio del país por liderar la transición energética y combatir el cambio climático que se ha constituido en un marco de referencia para el desarrollo de una política pública de estado que ha trascendido a los diferentes gobiernos desde su primera formulación en el año 2017 y sus sucesivas actualizaciones, lo que ha permitido establecer ejes de acción claros y permanentes en el tiempo, así como también ha establecido metas concretas a ser alcanzadas para asegurar el cumplimiento de los ambiciosos objetivos a alcanzar al año 2050.

Primera Versión Año 2017

La primera versión de la Estrategia Nacional de Electromovilidad [16.1] promulgada en el año 2017, estableció cinco ejes estratégicos para abordar de manera integral los desafíos y oportunidades relacionados con la movilidad eléctrica y su impacto en la sociedad. Estos ejes se agrupaban en 20 líneas de acción que se encargaban de abordar diversas áreas clave entre los años 2017 y 2020.

1. Regulación y estándares
2. Transporte público como motor de desarrollo
3. Fomento de la investigación y desarrollo de capital humano
4. Impulso inicial al desarrollo de la electromovilidad
5. Transferencia de conocimiento y entrega de información.

Al mismo tiempo se establecieron dos metas de largo plazo: alcanzar el **40% de vehículos particulares y 100% del transporte público urbano eléctricos al 2050** (Ministerio de Energía, Estrategia Nacional de Electromovilidad, 2017).

Con la puesta en marcha de la Estrategia Nacional de Electromovilidad, Chile centró sus primeros esfuerzos en electrificar flotas de vehículos de alto recorrido, priorizando el **transporte público** debido a que los beneficios de la electromovilidad impactan a un mayor número de personas y resulta económicamente viable, dado que estos vehículos recorren una cantidad significativa de kilómetros anualmente, lo que se traduce en ahorros energéticos importantes y ventajas ambientales.

Entre las iniciativas impulsadas en esta ámbito cabe destacar la integración de 1.443 buses ecológicos en el sistema de transporte público RED de la Región Metropolitana, más de 800 de los cuales son eléctricos, hasta agosto de 2021, lo que ha ido consolidando a Chile como el segundo país a nivel mundial con la mayor flota de buses eléctricos después de China.

En cuanto a las iniciativas para el transporte público menor, destaca el programa **"Mi Taxi Eléctrico"**, lanzado en 2021, que brinda apoyo a los taxistas para cambiar sus vehículos por opciones eléctricas. Este programa, que inicialmente se implementó en la Región Metropolitana, ya está siendo expandido a otras regiones del país, siendo un elemento clave para alcanzar las metas nacionales de electromovilidad.

Para el sector empresarial, el programa **Aceleradora de Electromovilidad**, ejecutado por la Agencia de Sostenibilidad Energética con apoyo del Ministerio de Energía, financia consultorías para empresas que incluyen capacitación, identificación de oportunidades y diseño de proyectos. Este programa está en su sexta versión y hasta el año 2023, este programa había beneficiado a 40 organizaciones públicas y privadas, incluyendo municipios y servicios de salud, promoviendo casos de éxito replicables a mayor escala.

Además, el *programa Electrologística*, impulsado por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, promueve el uso de vehículos eléctricos en la logística urbana, ofreciendo datos útiles para la toma de decisiones en este sector.

En el ámbito legislativo, la Ley de Eficiencia Energética, promulgada el 13 de febrero de 2021, establece estándares de eficiencia para vehículos nuevos y facilita la adopción de la electromovilidad mediante incentivos para los importadores. También autoriza al Ministerio de Energía a regular la interoperabilidad de los sistemas de carga, asegurando un acceso equitativo a la infraestructura de carga eléctrica.

Por su parte bajo la dirección y supervisión de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) se ha desarrollado una normativa técnica específica para la electromovilidad, que incluye el *Pliego Técnico Normativo N°15 (RIC-15)* promulgado en septiembre de 2020, norma técnica que regula la instalación segura de puntos de carga y la homologación de cargadores, garantizando la calidad y seguridad de los equipos conectados a la red eléctrica.

Por último, el 18 de enero de 2022 se realizó la quinta versión del *Acuerdo por la Electromovilidad* mediante el cual 142 actores (empresas e instituciones) firmaron su compromiso por la electromovilidad. Este acuerdo apunta al desarrollo de acciones y proyectos que en el corto plazo contribuyan a desarrollar en Chile las ventajas de la movilidad eléctrica, y promover este cambio en el transporte nacional.

Actualización Año 2021

Con el propósito de actualizar la Estrategia Nacional de Electromovilidad para hacerla más coherente con el desarrollo de la electromovilidad a nivel global y aprovechar las experiencias de los primeros años para así dar énfasis en los nuevos objetivos y metas a alcanzar en el mediano plazo, se procedió a elaborar una nueva versión actualizada la cual se publicó a fines del año 2021 [16.2].

El propósito central de esta nueva versión de la estrategia es garantizar que todos los ciudadanos en Chile puedan experimentar los beneficios, tanto directos como indirectos, del transporte sostenible mediante el uso de fuentes de energía cero emisiones, lo que contribuirá no solo a mejorar la calidad de vida de las personas, sino también a fomentar el desarrollo sostenible y a asegurar el cumplimiento de los compromisos ambientales asumidos por el país.

La estrategia fue actualizada para establecer ejes estratégicos claros, junto con medidas específicas y metas bien definidas, lo que pretende facilitar el desarrollo rápido y sostenible del transporte eléctrico.

Para su elaboración en dicha oportunidad se estableció un grupo de trabajo multidisciplinario e interministerial que contó con la participación de un Consejo Asesor de Electromovilidad el cual se conformó con especialistas de distintas áreas, cuyo objetivo era asesorar y acompañar al Ministerio de Energía en el proceso de actualización de la Estrategia Nacional de Electromovilidad. Adicionalmente se crearon Comités Técnicos conformados por miembros de las áreas académica, industria, emprendimiento/social y público con el objetivo de apoyar técnicamente el proceso de actualización de la Estrategia.

Como parte de la iniciativa se realizaron talleres cuyo objetivo fue recopilar, en base a la experiencia de los participantes, nuevas acciones en torno a la electromovilidad desde su sector.

Pilares Fundamentales

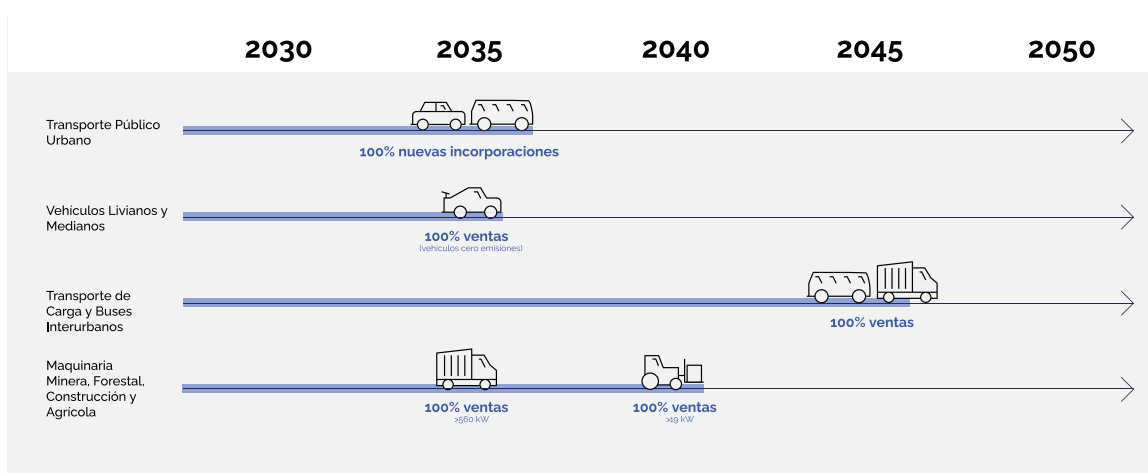
En esta nueva versión de la Estrategia de Electromovilidad se establecieron los siguientes 6 pilares fundamentales:

- 1. Transporte sostenible para mejorar calidad de vida:** La electromovilidad se identifica como una solución clave para mejorar la calidad de vida de las personas, gracias a sus múltiples beneficios. Entre aquellos más importantes, está el potencial de reducir considerablemente la contaminación en ciudades, aportando para el desarrollo de ciudades limpias y silenciosas, generando además ahorros económicos.
- 2. Ruta hacia la carbono neutralidad:** Nuestro país está comprometido con la transición a la carbono neutralidad. Se presenta el gran desafío de descarbonizar la economía completa, donde la energía renovable, la eficiencia energética y el desarrollo de la industria del hidrógeno verde puedan acercarse a los distintos sectores. La electromovilidad y las acciones de fomento a la eficiencia energética en transporte serán parte de los factores principales que permitirán a Chile alcanzar esta meta.
- 3. Integración armónica con ciudades:** El aumento del parque vehicular, aunque se trate de vehículos eléctricos, causa mayor congestión. Actualmente la planificación y movilidad urbana presentan grandes desafíos en la adaptación de espacios públicos y en la ciudad y la electromovilidad seguirá los mismos lineamientos.
- 4. Las energías limpias se desarrollan a través del transporte:** La electromovilidad no tendrá sentido, si es que no se disminuyen significativamente las emisiones de la matriz eléctrica, de donde proviene la energía para cargar los vehículos. La electrificación del transporte avanzará en paralelo a la descarbonización del sector de generación eléctrica.
- 5. Hacia el desarrollo sostenible:** Avanzar de manera decidida de acuerdo con las necesidades presentes del país incorporando una perspectiva de largo plazo, enfatizando los esfuerzos en el progreso tecnológico, apuntando al bienestar social, el cuidado con el medio ambiente y el crecimiento económico eficiente. Se promoverá gradual y paulatinamente un ecosistema diverso e inclusivo, incorporando, por ejemplo, consideraciones de género, procurando un enfoque integrador.
- 6. Transporte limpio como motor de desarrollo local:** El desarrollo tecnológico del sector traerá mayor innovación y actividad local, donde los actores públicos y privados están avanzando y colaborando fuertemente para desarrollar la electromovilidad en el país. Se velará por que este desarrollo presente oportunidades laborales y capacidades formativas, donde generen y produzcan un valor agregado.

Nuevas Metas para la Electromovilidad

En esta actualización de la estrategia se establecieron nuevas metas para el mediano y largo plazo, con el fin de entregar señales claras sobre los compromisos adoptados. Las más relevantes son:

1. el **100%** de las nuevas incorporaciones al transporte público urbano serán vehículos cero emisiones **al año 2035**
2. el **100%** de ventas de vehículos livianos y medianos sean cero emisiones **al año 2035**
3. el **100%** de las ventas de vehículos para el transporte de pasajeros interurbano y transporte terrestre de carga sean cero emisiones **al año 2045**.
4. Además, el **100%** de las ventas de maquinaria (minera, forestal, construcción y agrícola) de más de 560 kW de potencia será cero emisiones a partir del **año 2035**, y de más de 19 kW a partir del **año 2040**.



Como fruto de un proceso colaborativo que incluyó a representantes del sector público y privado, se desarrolló una estructura articulada en torno a cuatro ejes principales.

Esta estructura no solo establece lineamientos claros, sino que también define un plan de trabajo detallado, incluyendo acciones específicas a implementar en el próximo periodo de 4 a 5 años.

EJE 1	EJE 2	EJE 3	EJE 4
<p>Medios de transporte sustentable y financiamiento</p> <p>Este eje agrupa todas las medidas que aceleran la incorporación de vehículos eléctricos en nuestro país, a través de instrumentos de fomento o la electromovilidad, con el fin de disminuir asimetrías entre un vehículo a combustión interna y un vehículo eléctrico, potenciando también la creación de condiciones para la economía circular en la movilidad eléctrica y habilitación de nuevas tecnologías.</p> <ul style="list-style-type: none"> Instrumentos de fomento al transporte cero emisiones Aceleración transporte cero emisiones por segmentos Economía circular y transformación Habilitación de nuevas tecnologías y usos 	<p>Infraestructura de carga y regulación</p> <p>El despliegue de la infraestructura de carga presenta desafíos y oportunidades para seguir impulsando la electromovilidad. Una de ellas es expandir esta red de carga en regiones y promover soluciones de carga. En este sentido, es que también se generarán las condiciones habilitantes en el marco de la regulación y estándares de forma transversal al ecosistema de la electromovilidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> Aumento de cobertura de red de carga Tarifas e integración con la red eléctrica Regulación y estándares 	<p>Investigación y capital humano</p> <p>Los esfuerzos orientados a impulsar la electromovilidad van de la mano con el capital humano y la investigación aplicada a nivel nacional. Se promoverá el capital humano en torno al transporte cero emisiones, generando también una industria nacional con el fin de seguir potenciando la investigación e innovación para el desarrollo de las políticas públicas durante los próximos años.</p> <ul style="list-style-type: none"> Desarrollo de capital humano Impulso de industria nacional Investigación e innovación 	<p>Difusión, información y articulación</p> <p>En nuestra visión holística para el desarrollo de la electromovilidad, la difusión e información han sido fundamentales para avanzar en el camino hacia la descarbonización. La disponibilidad de información y transferencia de conocimientos permiten con mayor probabilidad replicar de forma exitosa y armónica el desarrollo de la movilidad eléctrica, focalizando los esfuerzos también en la articulación y cooperación internacional para que más personas se sumen en este camino.</p> <ul style="list-style-type: none"> Transferencia de conocimientos Coordinación y articulación de actores Cooperación internacional

4.3 Hoja de Ruta para el Avance de La Electromovilidad en Chile

Con el propósito de dar un impulso adicional a la introducción de la electromovilidad, se convocó en el año 2022 a una Mesa para el Avance de la Electromovilidad en Chile la cual tenía por objetivo identificar medidas prioritarias a corto y mediano plazo.

La Mesa de Electromovilidad integró a diversos actores clave del sector en Chile, facilitando un espacio de diálogo centrado en identificar necesidades y explorar soluciones para superar obstáculos y fomentar la adopción de la movilidad eléctrica en todo el país.

Los resultados de este trabajo se plasmaron en el documento *"Hoja de Ruta para el Avance de La Electromovilidad en Chile"* [16.3] publicado en el mes de agosto de 2023, el cual estableció una serie de iniciativas y acciones concretas las cuales deben ser implementadas hasta el año 2026.

A continuación, se resumen los aspectos más destacados de estas acciones las cuales se concentraron en los cinco ejes estratégicos que se describen en los siguientes párrafos.

EJE 1: Despliegue de la infraestructura de Carga

Una de las claves para impulsar el uso de vehículos eléctricos en Chile es la expansión y fortalecimiento de la infraestructura de carga pública. Esta medida busca mitigar la denominada "ansiedad de rango" o preocupación por la autonomía del vehículo. Actualmente el 66,4% de los cargadores públicos están ubicados en la Región Metropolitana, mientras que muchas otras comunas a lo largo del país aún carecen de acceso a estas instalaciones esenciales, limitando la adopción de vehículos eléctricos.

En respuesta a esta disparidad, se proponen las siguientes acciones para desarrollar una red de carga más robusta y equitativamente distribuida en todo el territorio nacional.

1. Elaboración del Plan Maestro de Infraestructura de Carga Pública

En la actualidad, el país cuenta con más de 900 puntos de carga, distribuidos en las 16 regiones del territorio nacional. En consideración que para el año 2035 se ha establecido como meta alcanzar que todas las ventas de vehículos nuevos livianos y medianos sean de modelos eléctricos, es crucial avanzar en el desarrollo de infraestructura de carga adecuada, tanto en zonas urbanas como en las rutas interurbanas que interconectan las distintas regiones del país.

Con el fin de adaptarse a la creciente demanda de vehículos eléctricos, se elaborará un plan maestro que evaluará de manera gradual las necesidades específicas de infraestructura de carga en cada región. Este enfoque detallado no solo determinará las necesidades regionales, sino que también establecerá una base sólida para la expansión nacional de la infraestructura de carga, identificando preliminarmente los sitios más adecuados y las demandas específicas de cada área.

Las metas establecidas para avanzar hacia una infraestructura de carga pública más robusta y accesible son las siguientes:

- Desarrollar y aprobar un Plan de Infraestructura de Carga Pública específico para la Macrozona Norte en el año 2024
- Crear y aprobar un Plan Nacional de Infraestructura de Carga Pública en 2025, que asegure que los puntos de recarga en rutas interurbanas estén separados por no más de 100 kilómetros.
- Iniciar la implementación del Plan Maestro de Infraestructura en la Macrozona Norte a lo largo del año 2024.

2. Habilitar la interoperabilidad

La “ansiedad de rango”, que surge de la preocupación de los usuarios sobre la disponibilidad de puntos de carga para vehículos eléctricos, será abordada mediante el desarrollo de una herramienta digital innovadora. Esta aplicación, accesible tanto desde la web como desde dispositivos móviles, proporcionará información detallada sobre la ubicación de los puntos de carga, el tipo de infraestructura disponible, su estado de disponibilidad, costos asociados y otros detalles relevantes.

Con esta herramienta, los conductores podrán planificar sus rutas de manera eficiente y optimizar sus viajes, mitigando así la incertidumbre asociada al alcance de la carga de sus vehículos eléctricos. La implementación de esta plataforma está programada para estar completamente operativa para el año 2024.

3. Modificación del Pliego Técnico Normativo RIC 15

El Pliego Técnico Normativo RIC N°15, también conocido como “Pliego Técnico 15”, dicta las normas de seguridad que se deben seguir en las instalaciones destinadas a la recarga de vehículos eléctricos, tanto en espacios públicos como privados.

Después de más de tres años en vigencia, se ha identificado la necesidad de mejorar y actualizar esta normativa para alinearla mejor con los estándares internacionales y las prácticas de homologación de vehículos eléctricos.

Como parte de las mejoras propuestas, se está planificando el desarrollo de una plataforma de interoperabilidad, junto con el establecimiento de normas y protocolos de comunicación de datos actualizadas, lo cual facilitará una integración más eficiente y segura entre los diferentes sistemas y equipos de carga distribuidos a nivel nacional.

La intención es que el nuevo pliego técnico, con todas estas actualizaciones incorporadas, debería estar publicado y en vigencia durante el año 2024.

EJE 2: Transporte Público y Descentralización

El desarrollo de la electromovilidad debe adaptarse armónicamente a las necesidades específicas de cada región, asegurando que el avance se distribuya equitativamente a lo largo del país. La importancia de fortalecer el transporte público en este contexto es indiscutible, dado que representa una plataforma esencial para la reducción de emisiones de carbono debido a su amplia base de usuarios que dependen de este servicio para su movilidad diaria.

1. Buses eléctricos para el transporte público regional

En el marco de la Estrategia Nacional de Electromovilidad, se ha establecido que para el año 2035, todas las nuevas incorporaciones en el transporte público urbano sean vehículos eléctricos. Para lograr este objetivo, se implementarán buses eléctricos de alto estándar en varias regiones, equipados con tecnologías modernas como cargadores USB, cabina segregada para el conductor, transmisión automática, entrada baja y aire acondicionado. Además, se realizarán mejoras en aspectos operacionales, tarifarios y contractuales.

A continuación, se detallan las metas específicas por región:

Región de Antofagasta:

Se desplegarán 40 buses eléctricos para operar un electro corredor de aproximadamente 20 kilómetros de longitud por sentido.

Región de Coquimbo:

Se introducirán dos nuevos servicios de transporte público eléctrico que conectarán Coquimbo y La Serena, con una flota prevista de 42 buses eléctricos, facilitando un tránsito más limpio y eficiente entre estas ciudades clave.

Región del Biobío:

En colaboración con EFE SUR, se ha propuesto un proyecto de integración con Biotrén en el gran Concepción. Este proyecto incluirá 25 buses eléctricos y dos nuevos servicios que cubrirán un total de 45 kilómetros, vinculando eficazmente los nodos de transporte existentes.

Región de Atacama:

La región verá la implementación de 12 nuevos servicios de buses eléctricos que mejorarán la conectividad y los estándares de transporte en Copiapó. Se contempla una flota de al menos 100 buses eléctricos, con dos centros de carga situados en Cuesta Cardones y Paipote, asegurando una cobertura y servicio adecuados.

2. Programas de locomoción menor

El transporte público menor, que incluye taxis básicos y colectivos, juega un papel crucial en el sistema de movilidad regional. En este contexto, la adopción de la electromovilidad mediante programas regionales específicos representa una estrategia vital para mejorar la calidad del servicio y contribuir a los objetivos de descarbonización del país.

Para fomentar esta transición hacia la electromovilidad, se ha lanzado el programa **"Mi Taxi Eléctrico"**. Este programa, financiado por los Gobiernos Regionales, se implementará en las regiones de Antofagasta, Atacama, O'Higgins y Biobío. El objetivo principal es proporcionar un ecosistema integral que no solo incluya vehículos eléctricos, sino también la infraestructura necesaria para su mantenimiento y operación continua.

Los beneficiarios del programa reciben cofinanciamiento para la adquisición del vehículo eléctrico y para la instalación de un cargador en sus domicilios. Además, el programa contempla la creación de talleres especializados en cada una de estas regiones, equipados para atender las necesidades de postventa de los vehículos eléctricos.

3. Mesas de Electromovilidad Regionales

Basándose en las valiosas lecciones aprendidas en la **Mesa para el avance de la Electromovilidad** realizada en la Región Metropolitana, se ha identificado la importancia de replicar estos foros participativos en otras regiones de Chile. Este enfoque permitirá recolectar opiniones y entender las necesidades específicas de cada región, asegurando que el desarrollo de la electromovilidad sea inclusivo y adaptado a las particularidades locales.

4. Transporte público en la Región Metropolitana

Durante el último proceso de implementación del sistema RED, se cumplió una de las metas propuestas: lograr que 2 de cada 3 buses del sistema cumplan con el nuevo estándar, es decir, que sean eléctricos o Euro VI. En total, el sistema de transporte público de la Región Metropolitana cuenta hoy con 4.260 buses de alto estándar, eléctricos o ecológicos Euro VI.

En la actualidad está en pleno proceso la licitación de la "Concesión de Uso de Vías 2023" que abarca a 121 recorridos (alrededor del 30%) de los recorridos actuales y la incorporación de 2.100 nuevos buses eléctricos para el sistema, los que tendrán como exigencia ser unidades "cero emisión". Esto significa la modernización de cerca del 15% de la flota, llegando a finales de 2024 a 3.000 buses eléctricos en la Región Metropolitana.

5. Transporte menor en la Región Metropolitana

Actualmente el programa "Renueva tu colectivo" existe en todas las regiones del país menos en la Región Metropolitana, por lo mismo, se buscará ampliar la cobertura del programa con el objetivo de entregar subsidios a propietarios de taxis colectivos antiguos para efectuar el recambio a vehículos eléctricos.

Se espera que el Proyecto de Ley de Subsidios al Transporte Público sea promulgado durante 2024, permitiendo así que propietarios de taxis colectivos de esta región puedan formar parte del programa "Renueva tu colectivo".

EJE 3: Educación y capacitación

La transición hacia el transporte cero emisiones es un camino complejo que no sólo implica cambios tecnológicos y estructurales, sino también la evolución de la fuerza laboral necesaria para soportar estas nuevas tecnologías. La implementación efectiva de la electromovilidad, tanto en transporte público como privado, requiere el desarrollo de competencias específicas en los trabajadores actuales y futuros del sector.

Uno de los desafíos más significativos es la creación y adaptación de perfiles laborales que respondan a las necesidades de las nuevas cadenas de valor en la industria del transporte eléctrico. Esto implica no solo técnicos capacitados en mantenimiento y reparación de vehículos eléctricos, sino también en la instalación y mantenimiento de infraestructura de carga, diseño de sistemas eléctricos para transporte, y la gestión y operación de flotas eléctricas.

La educación y capacitación son fundamentales para lograr estos objetivos. Es crucial desarrollar programas de formación técnica y tecnológica que ofrezcan certificaciones en áreas clave como electrónica automotriz, sistemas de baterías, y seguridad eléctrica, entre otros. Además, los currículos deben ser diseñados en colaboración con la industria para garantizar que los contenidos de los cursos reflejen las competencias realmente necesarias en el campo.

También es importante establecer colaboraciones con instituciones de educación técnica, universidades y centros de formación profesional, además de alianzas con fabricantes de vehículos eléctricos y empresas de servicios energéticos, para asegurar que los programas de capacitación sean pertinentes y de alta calidad.

Estas medidas no sólo ayudarán a satisfacer la demanda laboral del sector de electromovilidad, sino que también asegurarán que Chile avance de manera competitiva en la adopción de tecnologías limpias, contribuyendo al mismo tiempo a sus metas de sustentabilidad y reducción de emisiones de carbono. Este enfoque integral en la capacitación y educación es esencial para construir un ecosistema robusto que apoye la expansión de la movilidad eléctrica en el país.

La hoja de ruta ha establecido las siguientes cuatro líneas de acción para alcanzar estos objetivos.

1. Capacitación con gremios de transporte público

El Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones está impulsando la expansión de la electromovilidad más allá de la Región Metropolitana, reconociendo el papel crucial que cumplen los gremios de transporte público en este proceso. Para facilitar esta transición, se han establecido programas de capacitación dirigidos tanto a operadores regulados como no regulados, brindándoles la oportunidad de aprender directamente de las experiencias y prácticas establecidas en la Región Metropolitana.

Se han diseñado sesiones de capacitación para proporcionar a los participantes conocimientos prácticos sobre cómo la electromovilidad puede ser implementada efectivamente en sus propias regiones. Los contenidos cubrirán aspectos críticos como el desarrollo de proyectos que califiquen para financiamiento destinado al recambio de flotas y la instalación de infraestructura necesaria, como los centros de carga para el transporte público mayor.

Para asegurar una adopción y adaptación efectivas, estas capacitaciones se realizarán semestralmente. El plan de capacitación, que comenzó en julio de 2023, continuará durante el año 2024.

2. Formación técnica orientada a la electromovilidad

Es esencial contar con técnicos capacitados para satisfacer la creciente demanda en el campo de los vehículos eléctricos y su infraestructura de carga. Con este fin, el país ha desarrollado dos perfiles laborales específicos: el Especialista en diagnóstico y mantenimiento de vehículos eléctricos y el Instalador(a) de infraestructura de carga para vehículos eléctricos. Estos perfiles son fundamentales para garantizar un mantenimiento adecuado de los vehículos eléctricos y una instalación segura y eficiente de la infraestructura de carga.

Para impulsar la formación en estos perfiles a nivel nacional, el Ministerio de Energía ha destinado medidas concretas. Desde el Programa de Capital Humano se asignarán 250 becas por año para capacitaciones de formación técnica orientadas al mantenimiento de vehículos eléctricos e infraestructura de carga a partir del año 2024.

3. Nuevos perfiles laborales

Es evidente que la electromovilidad está transformando el panorama laboral en el sector de la energía y el transporte. Si bien los perfiles laborales existentes, el Especialista en Diagnóstico y Mantenimiento de Vehículos Eléctricos y el Instalador(a) de Infraestructura de Carga para vehículos eléctricos, son un paso importante, el continuo desarrollo y despliegue de esta tecnología requiere una ampliación de capacidades y habilidades técnicas.

Para abordar esta necesidad, es crucial levantar nuevos perfiles laborales que reflejen las demandas emergentes del sector de la electromovilidad. Estos nuevos perfiles podrían incluir roles especializados en áreas como la gestión de flotas eléctricas, la optimización de la infraestructura de carga, el desarrollo de software para sistemas de gestión de energía en vehículos eléctricos, entre otros.

4. Capacitación virtual

La utilización de medios virtuales para la capacitación en electromovilidad representa una oportunidad invaluable para llegar a una amplia gama de audiencias, especialmente a aquellos que enfrentan limitaciones de tiempo o dificultades para acceder a capacitaciones presenciales. En colaboración con SERCOTEC, se llevará a cabo una iniciativa destinada a difundir y ampliar esta modalidad de capacitación, con el objetivo de hacerla accesible para un público más amplio y diverso.

Los medios virtuales ofrecen flexibilidad y conveniencia, permitiendo a los participantes acceder a los contenidos de capacitación en cualquier momento y desde cualquier lugar con conexión a internet. Esto es especialmente beneficioso para aquellos que tienen horarios ocupados o que viven en áreas remotas donde las opciones de capacitación presencial son limitadas.

EJE 4: Seguridad Vial

Garantizar la seguridad en el uso de vehículos eléctricos es de suma importancia para generar confianza tanto en los usuarios como en los operadores de transporte y su personal. La adopción de medidas específicas para minimizar los riesgos asociados con la electromovilidad es fundamental para promover un despliegue seguro de esta tecnología.

Dado que los vehículos eléctricos presentan características y riesgos diferentes a los vehículos de combustión interna, es crucial implementar medidas de seguridad adecuadas en todas las etapas, desde la fabricación hasta el uso diario y en situaciones de emergencia. Esto incluye aspectos como la capacitación del personal de emergencias en cómo responder a incidentes relacionados con vehículos eléctricos, la implementación de protocolos de seguridad en la instalación y mantenimiento de infraestructura de carga, y la difusión de información clara y precisa para los usuarios sobre cómo operar y mantener de manera segura sus vehículos eléctricos.

Además, es importante que se establezcan estándares y normativas específicas para la seguridad de los vehículos eléctricos, así como para la infraestructura de carga. Estos estándares deben abordar aspectos como la protección contra incendios, la gestión segura de baterías y la resistencia estructural de los vehículos eléctricos en caso de accidentes.

En resumen, la seguridad debe ser una prioridad en el despliegue de la electromovilidad. Mediante la implementación de medidas adecuadas y la colaboración entre fabricantes, operadores, autoridades reguladoras y otros actores relevantes, se pueden crear las condiciones necesarias para garantizar un entorno seguro para la adopción y el uso de vehículos eléctricos en todo el país.

1. Contenidos de electromovilidad en el Libro del Nuevo Conductor

La inclusión de contenidos de electromovilidad en el Libro del Nuevo Conductor, a cargo de la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito, es una medida clave para asegurar que los futuros conductores adquieran conocimientos relevantes y actualizados sobre esta tecnología emergente. Esto ayudará a promover conductas responsables y seguras en el tránsito, así como a fomentar una mayor conciencia sobre los vehículos eléctricos y su impacto en la movilidad sostenible.

Entre las medidas propuestas se contempla incorporar contenidos de electromovilidad en el Libro del Nuevo Conductor para optar a la licencia de conducir clase B, al tiempo que se ha establecido como meta publicar la actualización del Libro del Nuevo Conductor con contenidos de electromovilidad durante el año 2024.

2. Protocolos para asistir servicios de emergencia

La inclusión de tecnología eléctrica en vehículos requiere un enfoque especializado para la asistencia en emergencias, dado que pueden presentar riesgos únicos y desafíos adicionales para los servicios de rescate. Para abordar esta necesidad, se proponen las siguientes medidas:

- Elaboración de contenidos mínimos para la asistencia en emergencias viales que involucren vehículos eléctricos.
- Realización de un piloto para capacitar a los servicios de emergencia a lo largo del país.

La incorporación de protocolos específicos para la asistencia de siniestros viales que involucren vehículos eléctricos en el Manual de Operaciones Multi-Institucional Ante Emergencias es una medida crucial para garantizar una respuesta efectiva y segura ante este tipo de incidentes.

3. Información de la configuración eléctrica de vehículos pesados

Es relevante extender la obligación de disponer de información sobre los planos eléctricos de los vehículos pesados. Esto radica en la necesidad de garantizar la seguridad y la eficiencia en la operación de estos vehículos, especialmente en el contexto de la creciente adopción de vehículos eléctricos pesados.

Para abordar esta necesidad, se han propuesto las siguientes medidas:

Elaboración de regulaciones:

Se llevará a cabo la elaboración de regulaciones específicas que mandaten la disposición de los planos eléctricos de los vehículos pesados.

Inclusión de los vehículos eléctricos pesados:

Las regulaciones se enfocarán en incluir específicamente a los vehículos eléctricos pesados, asegurando que estos también cumplan con la obligación de proporcionar información detallada sobre sus sistemas eléctricos.

Implementación y cumplimiento:

Una vez establecidas las regulaciones, se procederá a su implementación y se garantizará su cumplimiento mediante la supervisión y el seguimiento por parte de las autoridades competentes.

EJE 5: Modificaciones a la Regulación Actual

El diagnóstico elaborado por la Mesa para el Avance de la Electromovilidad, ha identificado la necesidad de realizar modificaciones regulatorias tanto a nivel reglamentario como legal para superar las barreras que obstaculizan una mayor penetración de la movilidad eléctrica en Chile.

Estas barreras incluyen aspectos operativos que requieren habilitación legal, como la transformación de vehículos a combustión, la habilitación de infraestructura de carga en edificaciones nuevas y existentes, así como aspectos relacionados con la micromovilidad.

Análisis regulatorio: Se llevará a cabo un análisis exhaustivo de la regulación actual en relación con la movilidad eléctrica, identificando las barreras específicas que impiden su desarrollo y crecimiento. Esto incluirá aspectos como los requisitos para la transformación de vehículos a combustión, los procedimientos para la habilitación de infraestructura de carga en edificaciones y la normativa relacionada con la micromovilidad.

Modificaciones reglamentarias: Se realizarán modificaciones a nivel reglamentario para eliminar o reducir las barreras identificadas. Esto puede implicar la simplificación de los procesos de transformación de vehículos, la actualización de las normativas de construcción para facilitar la instalación de infraestructura de carga en edificaciones nuevas y existentes, y la creación de regulaciones específicas para la micromovilidad.

Elaboración de un proyecto de ley: En los casos en que las modificaciones reglamentarias no sean suficientes, se estudiará la elaboración de un proyecto de ley que permita abordar las barreras regulatorias de manera más integral. Este proyecto de ley podría incluir disposiciones para promover la transformación de la flota vehicular hacia la electromovilidad, establecer incentivos para la instalación de infraestructura de carga y regular el uso de vehículos de micromovilidad.

Participación y consulta pública: Se fomentará la participación y consulta pública durante el proceso de elaboración y discusión de las modificaciones regulatorias y el proyecto de ley. Esto permitirá recoger diferentes perspectivas y experiencias, asegurando que las medidas propuestas sean efectivas y cuenten con el respaldo de la sociedad.

NÚMERO DE BUSES Y NORMA NACIONAL

5

5. NÚMERO DE BUSES Y NORMA NACIONAL

5.1 Número de buses en Chile [16.10,16.11,16.12]

El número de buses que circulan por el país, según las fuentes que se citan en esta sección son los que se indican a continuación.

Región Metropolitana [16.11]: Según indica el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, a fines de julio de 2023, 6452 es el número de buses del sistema público de transporte. La Red Movilidad cuenta con 4441 buses de alto estándar, de ellos 2411 son buses diésel ecológicos o Euro VI y 2000 son eléctricos que representa el 31% de la flota capitalina. El número de recorridos es 387 y el número de empresas concesionarias es 8 [16.12] ¹.

Regiones [16.10]: La información del número de buses y sus características generales no es fácil de obtener directamente. Para hacer una estimación se recurrió a las fichas técnicas del estudio "Consultoría para Catastro de terminales y/o Depósitos de Buses para Transporte Urbano" de junio de 2021, preparado para la Agencia de Sostenibilidad Energética. Procesando las planillas de la encuesta se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 3. El total de autobuses determinados a partir de la fuente señalada es 11.077. La mayoría de los vehículos que se apreciaron en las fotografías son autobuses, con capacidad para unos 20 a 24 pasajeros sentados.

Tabla 3: Cantidad de autobuses en regiones

REGIÓN	BUSES
Arica y Parinacota	248
Tarapacá	355
Antofagasta	1069
Coquimbo	567
Valparaíso	2182
O'Higgins	328
Maule	672
Ñuble	368
Bio Bio	3046
Araucanía	947
Los Lagos	908
Los Ríos	317
Magallanes	70
Total Regiones	11.077

¹ Estos datos corresponden al informe de gestión del Directorio de Transporte Público del MT de 2022

5.2 Características técnicas de los buses

5.2.1 Estándares Chilenos [16.13]

En Chile los requisitos dimensionales y funcionales de los vehículos que presten servicios de locomoción urbana están definidos en el DS 122 del 18 de junio de 1991 y modificaciones posteriores del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

Será parte de este estudio escoger los tipos de buses eléctricos admisibles según la norma chilena. En concordancia con esto, en la Tabla 4 y la Tabla 5 se muestra el resumen de las magnitudes de longitud, peso y número de asientos que esta disposición admite.

Tabla 4: Clasificación de tipos de buses por peso bruto, número de pasajeros y longitud mínima (Arts. 2° y 3°) Clase de Bus Tipo Peso

Clase de Bus	Tipo	Peso Bruto Vehicular ton.	N° de asientos	Longitud Mínima [Mts]
Liviano	L	PB < 10	NA < 26	
Mediano	M	10 <=PB< 14	NA < 26	9 <= L
Pesado	P	14 <=PB	NA < 27	11 <= L

Tabla 5: Clasificación de buses por longitud (Art. 2° Bis)

Bus Clase	Longitud Mínima [Mts]	Longitud Máxima [Mts]
A	8 <= L	L < 11
A1		L < 9
A2	L >= 9	
B	11 <= L	L < 14
B1		L < 12
B2	L >= 12	
C	14 <= L	L < 18
C1		L < 16,5
C2	L >= 16,5	
D (2 pisos)	10 <= L	L < 13

Al inspeccionar las tablas y observar los buses circulantes en el país se concluye que en Santiago y en la mayor parte de la región metropolitana son medianos de clase B y algunos de clase A, en tanto que en provincia casi todos son livianos de clase A.

A red and white electric bus is shown from a front-quarter perspective. A large, bold white number '6' is overlaid on the right side of the bus. The bus has a license plate that reads 'LW 1K 566'. The background shows some greenery and a hazy sky.

6

**DESPLIEGUE
ACTUAL
DE BUSES
ELÉCTRICOS
EN CHILE**

6. DESPLIEGUE ACTUAL DE BUSES ELÉCTRICOS EN CHILE

El propósito de este breve capítulo es resumir la situación actual del uso de buses eléctricos en la en el país. Se separa la región metropolitana de las demás regiones.

6.1 Región Metropolitana

6.1.1 Número de buses eléctricos de la RM

El sistema de transporte público RED de la región metropolitana cuenta con 6.700 buses, 2.000 de los cuales son eléctricos y la licitación pública de uso de vías 2023, actualmente en curso, busca proveer otros 1.200. Haciendo un total de 3.200 buses eléctricos en la RM.

6.1.2 Información técnica de presentación de Licitación 2023

La información contenida en la presentación de MTT con motivo del Lanzamiento de la Licitación Pública Uso de Vías 2023, realizada en enero de 2024 se resume gráficamente a continuación. En particular se muestra la longitud de los recorridos, el número de paradas por kilómetro, la velocidad media de los buses, la autonomía mínima, los tiempos de carga lenta y de oportunidad. Todos estos datos son clave para diseñar las flotas de buses cómo se verá luego en el capítulo 8.

Figura 3: Información presentada por DTPM licitación 2023



6.2 Situación en Regiones

6.2 Situación en Regiones

Actualmente en regiones el número de buses diésel es de 11.100 aproximadamente y son de menor tamaño que los existentes en la capital. La mayoría son autobuses del tipo Livianos de clase A. Hoy en día no existe aún un sistema de transporte público con las características del de la RM. No obstante en la revisión 2021 de la EEM si se detallan algunas las metas por región, su estado se explicita en la tabla mostrada a continuación.

Tabla 6: Despliegue de flotas de buses eléctrico en Regiones

REGIÓN	PROYECTO	ESTADO
Antofagasta	Despliegue de 40 buses eléctricos para operar un corredor de aproximadamente 20 kilómetros de longitud por sentido entre Chimba Alto y Campus Coloso.	En marcha desde 3 de Diciembre 2023.
Atacama	Implementación de 12 nuevos servicios de buses eléctricos en Copiapó. Se contempla una flota de al menos 100 buses eléctricos, con dos centros de carga situados en Cuesta Cardones y Paipote.	Operación para segundo semestre de 2025.
Coquimbo	Dos nuevos servicios de transporte público eléctrico que conectarán Coquimbo y La Serena, con una flota prevista de 42 buses eléctricos.	Operación para segundo semestre 2024.
Valparaíso	Se incorporará un total de 44 buses eléctricos para entregar 4 nuevos servicios.	Previsto para segundo semestre 2024
O'Higgins	En Rancagua, 10 buses eléctricos en reemplazo de buses antiguos (Plan Renueva tu Micro 2022)	En servicio desde el 14 de Mayo de 2024.
Biobío	En colaboración con EFE SUR, se ha propuesto un proyecto de integración con Biotrén en el gran Concepción. Este proyecto incluirá 25 buses eléctricos y dos nuevos servicios que cubrirán un total de 45 kilómetros, vinculando eficazmente los nodos de transporte existentes. Al 2030 contar con 200 nuevos buses eléctricos.	25 buses adquiridos por EFE para complementar servicio Biotrén a entrar en servicio en 2025.

ASPECTOS TÉCNICOS DE BUSES ELÉCTRICOS BATERÍAS Y CARGADORES



7

7. ASPECTOS TÉCNICOS DE BUSES ELÉCTRICOS BATERÍAS Y CARGADORES

El propósito de este breve capítulo es resumir la situación actual del uso de buses eléctricos en la en el país. Se separa la región metropolitana de las demás regiones.

7.1 Oferta de buses eléctricos [16.13]

A nivel mundial, los fabricantes ofrecen buses estandarizados por dimensiones físicas (longitud, ancho, alto), altura interior y ergonomía en cabina para el conductor. En cuanto a características técnicas, diámetro de giro, pendiente máxima, peso, potencia del motor, autonomía y modo de carga de las baterías, sistemas de frenado, sistemas de control y seguridad. A pedido proveen sistemas de aire acondicionado y calefacción. Normalmente adaptan su oferta en número de asientos, el tipo y número de puertas. Lo anterior también incide en el número total de pasajeros, incluyendo al conductor que puede transportar el bus. Se muestran a continuación en las figuras siguientes imágenes de catálogos para ilustrar que la oferta disponible es compatible con los estándares nacionales.

Figura 4: Muestra de longitudes disponibles en el mercado



Ankai último autobús urbano eléctrico de 12 m

El autobús eléctrico puro de sexta generación de Ankai se ha



autobús de combustible de hidrógeno Ankai 12m

La mayor ventaja de los autobuses de combustible de hidrógeno de



autobús urbano eléctrico Ankai 12m

AnkaiG9E1 autobús urbano eléctrico tiene un diseño inteligente



autobús urbano eléctrico Ankai 10,5 m

El autobús urbano Ankai electric g9 tiene un diseño inteligente y liviano,



Ankai 8.5m bus eléctrico de largo alcance

Ankai electric g9 tiene un diseño inteligente y liviano, un espacio de



minibús eléctrico Ankai 8m

El minibús Ankai electric g9 tiene un diseño inteligente y liviano, un



mini autobús urbano eléctrico Ankai 6.5m

tamaño pequeño, gran capacidad! amplio espacio, interior sencillo y

Figura 5: Especificación técnica básica típica



E11 PRO

Total length * Width * Height (mm)	11200*2550*3290
Wheelbase (mm)	5800
Factory set maximum total mass (kg)	19000
Minimum turning diameter (m)	≤20
Motor rated power (kW/rpm)	215
Motor rated torque (N.m/rpm)	1260
Cooling capacity of A/C (kcal/h)	38000
Heating capacity of A/C (kcal/h)	36000
Front axle	ZF RL82EC
Rear axle	ZF AV133
Suspension	ECAS with lifting system
Steering	BOSCH 8098
Tire	Goodyear 305/70R22.5
Rim	Aluminium alloy
Battery type	Lithium iron phosphate
Battery control technology	Automatic temperature control
Charging type	European Standard DC charging socket
Seating capacity	30+1

Seats



7.2 Características técnicas de baterías de litio [16.14,16.15,16.16]

7.2.1 Baterías de Ion litio [16.14]

El litio es un término colectivo para diversas composiciones químicas y tecnologías diferentes. Es un tipo de componente utilizado en baterías, que en comparación con una batería de plomo-ácido tradicional, tiene una densidad energética mucho mayor y, por lo tanto, puede almacenar y suministrar energía mucho más rápido. Las baterías de iones de litio, también denominadas baterías Li-ion, son un dispositivo con celdas de energía diseñadas para el almacenamiento de energía eléctrica. Las celdas de la batería de iones de litio pueden ser de diferentes composiciones químicas. Las composiciones más comunes son:

- **LFP:** Una aleación de litio, hierro y fosfato.
- **NMC:** Una aleación de cobalto de litio, níquel y manganeso.
- **NCA:** Una aleación de óxido de aluminio, cobalto de litio y níquel de alta calidad. Esta composición ofrece la mayor densidad energética y entrega de energía instantánea, además de garantizar altas prestaciones durante una mayor vida útil.

Una batería de iones de litio consta de varias celdas que se ensamblan juntas en un módulo. Dependiendo del tamaño de la batería, los módulos están conectados en serie y forman un sistema de batería. Cada módulo está equipado con sistemas de seguridad mecánicos y electrónicos. Además, el sistema completo de la batería tiene un BMS (Battery Monitoring System - Sistema de Gestión de Batería) superior que controla la actividad total de la batería. El sistema BMS coopera y se comunica con el sistema de control del móvil. Si alguna celda de un módulo de batería fallara o corriera algún tipo de riesgo como por ejemplo riesgo de sobrecalentamiento, la fuente de alimentación se apagaría.

7.3 Ciclos de carga

La vida útil o duración de las baterías se mide en ciclos de carga. Un ciclo de carga se completa cuando toda la energía de la batería se ha consumido. Esto es algo que puede hacerse en varias operaciones de carga. Las baterías de litio se pueden recargar a cualquier nivel y en cualquier momento sin afectar a la vida útil de la batería. Esto hace que los tiempos de carga sean más flexibles y asegura que los equipos estén disponibles siempre que sea necesario.

Qué es el ciclo de carga de una batería

Un ciclo de carga es el proceso durante el cual se consume toda la energía de una batería completamente cargada. Esto no equivale a la descarga realizada entre un proceso de recarga y el siguiente, sino el equivalente al 100% de la batería.

Por ejemplo si se carga una batería al 100 %, pero sólo se gasta el 62 % antes de volver a conectar el cargador y recargarla de nuevo. No se habrá completado un ciclo de carga hasta haber consumido otro 38 % de energía.

Qué pasa cuando se cumplen los ciclos de carga de la batería

Si una batería tiene una vida útil estimada de 4000 o 6000 ciclos de carga, esto no significa que, cuando completen dicha cifra, dejen de funcionar y haya que tirarlas, sino que es el tiempo estimado durante el cual conservan un rendimiento superior al 80 % de su capacidad total. A partir de ahí, se prevé que su degradación ya es excesiva y es recomendable cambiarla por otra nueva.

Cómo reducir la degradación de la batería

Existen varios condicionantes que afectan negativamente a las baterías y provocan una degradación prematura. Es decir, acortan el número de ciclos de carga que esta es capaz de soportar. Entre ellos se encuentran las temperaturas extremas, tanto el exceso de calor como el frío. Otro de esos condicionantes, quizá el más importante, es el modo en que se cargan las baterías.

La mayoría de los vehículos eléctricos actuales cuentan con dos sistemas para prevenir estos problemas:

- **Sistema de Gestión Térmica (TMS)**, que ayuda a mantener la batería en un rango de temperatura lo óptimo posible.
- **Limitador de índice de carga**, que puede ser configurable o no y que mantiene el nivel de carga en un rango determinado.

Los estudios indican que es mejor cargar una batería parcialmente muchas veces que completar un ciclo completo de una sola vez. Es más, está demostrado que cargando una batería hasta el 80% y permitiendo que esta se agote permite triplicar los ciclos de carga que si se carga al 100% y luego se consume hasta el 20% antes de volver a cargarla.

Como ejemplo se cita un estudio del fabricante de baterías BMZ[16.15], en una batería de 50 kWh el tipo de carga afecta del siguiente modo:

- **Descarga de 100 a 0%:** 500 ciclos, 25.000 kWh.
- **Descarga de 100 a 20%:** 1000 ciclos, 50.000 kWh.
- **Descarga de 90 a 10%:** 1500 ciclos, 75.000 kWh.
- **Descarga de 90 a 20%:** 2000 ciclos, 100.000 kWh.
- **Descarga de 80 a 20%:** 3500 ciclos, 175.000 kWh.
- **Descarga de 70 a 10%:** 5500 ciclos, 275.000 kWh.
- **Descarga de 70 a 20%:** 6000 ciclos, 300.000 kWh.

7.4 Tipos de carga [16.16]

En la práctica está demostrado que las cargas muy rápidas o ultrarrápidas son perjudiciales para las baterías, ya que las degradan prematuramente. De no tener baterías con un diseño especial, los cargadores de estos tipos deben utilizarse sólo de forma esporádica.

Los tipos de carga de baterías más utilizados son los dos que se indican a continuación. En el día a día, lo mejor es disponer de un punto de carga lenta o media que maximizará la vida útil de las baterías. Se tardan más horas en completar la operación, pero se preserva la vida útil de las baterías. Para las flotas de buses eléctricos urbanos, la mejor estrategia debe estar incorporada en el diseño de la flota que prestará el servicio, más detalles se explican en el capítulo 8.

Carga convencional

Cargar una batería de una vez para lograr una carga completa se conoce como carga convencional. Este proceso implica siempre cargar la batería al 100%. Lo usual en este régimen utilizar la batería una vez por día.

Carga de oportunidad

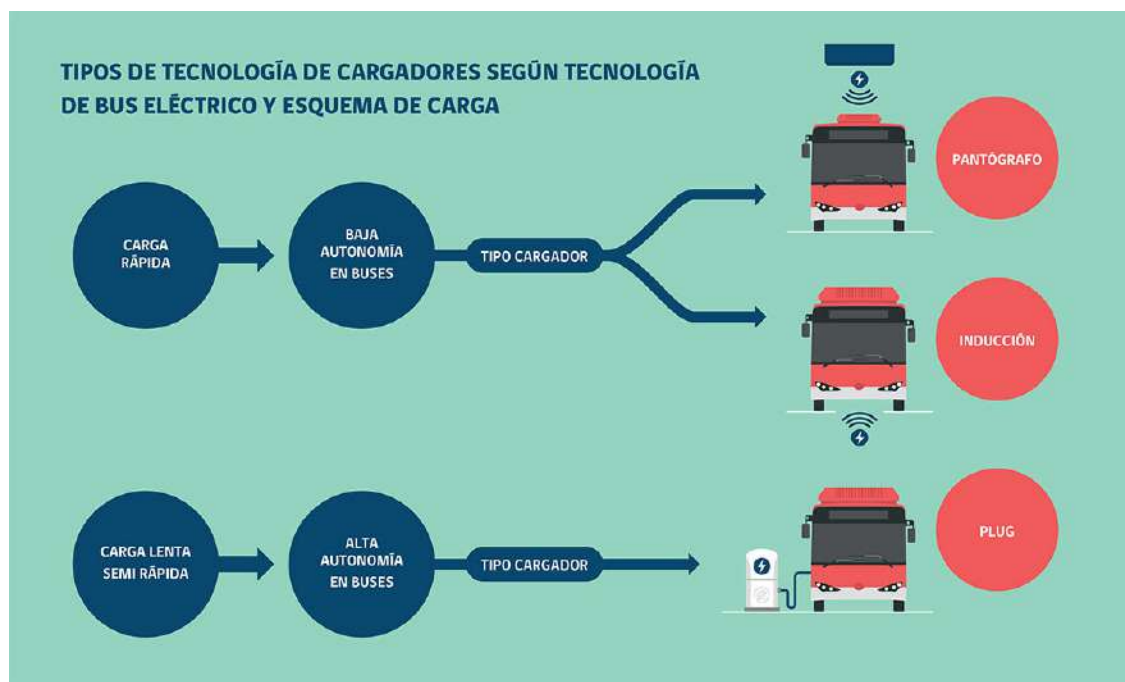
La carga de oportunidad es un método que permite que las baterías se carguen más rápido y a tasas de carga sustancialmente más altas. Carga de "oportunidad" es cargar una batería en cada momento oportuno posible, por lo menos 10 minutos. Las cargas de oportunidad permiten que el nivel de carga de la batería se mantenga entre el 20% y el 80% durante un turno de trabajo normal. Una vez al día, se permite que la batería se recargue al 100% de su capacidad nominal.

Las cargas de oportunidad son recomendadas para operaciones que tienen múltiples turnos y un tiempo limitado para la carga de la batería durante todo el día.

7.5 Tipos de cargadores

Los tipos de cargadores que se presentan en esta sección, corresponden a un resumen de lo publicado en la Plataforma de Electromovilidad del MTT. La Figura 6 resume los esquemas de carga para tecnologías eléctricas: lenta o semi rápida, para carga nocturna y rápida para carga de oportunidad. Cada esquema de carga y tecnología asociada presenta ventajas y desventajas (ver Figura 7).

Figura 6: Tipos de Tecnologías para Cargadores de Buses Eléctricos



Cargador tipo plug-in (para carga lenta y rápida): 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. 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. El mercado ofrece cargadores tipo plug-in de 40 (kW), 80 (kW) a 150-300 (kW).

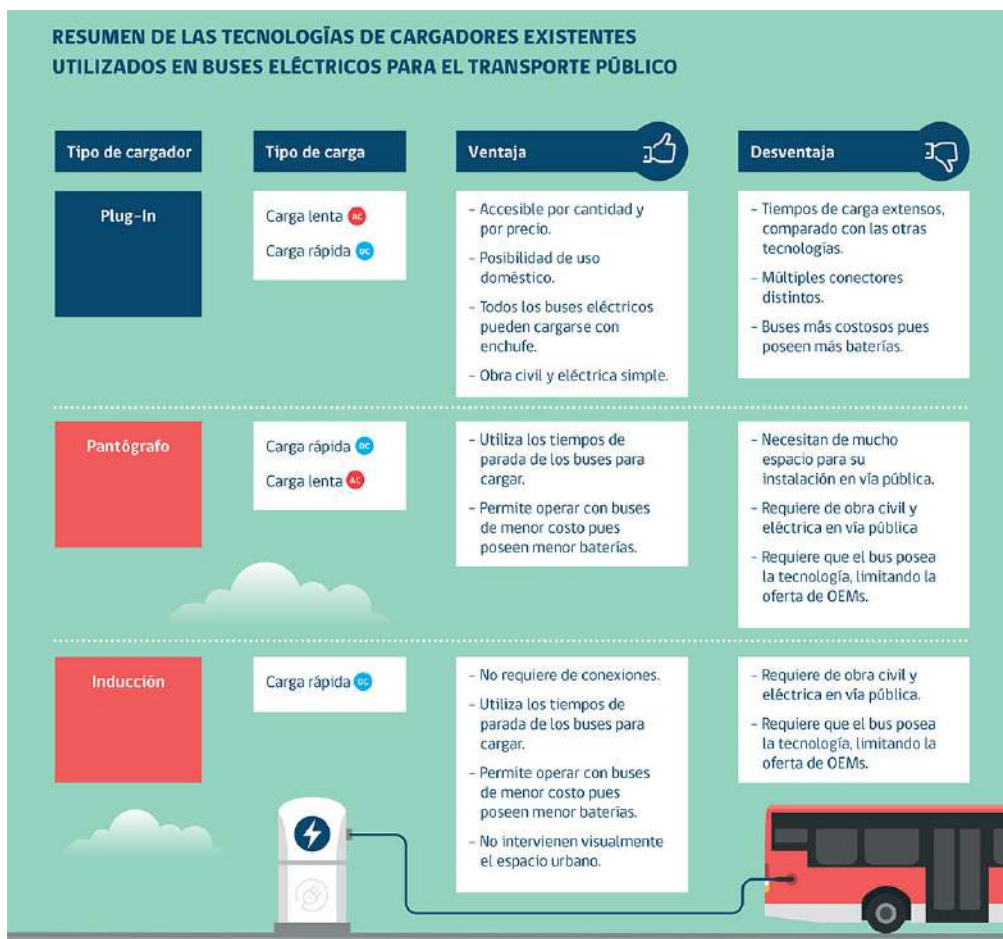
Cargador tipo pantógrafo: Este tipo de cargador aún no tiene presencia masiva para el uso de buses eléctricos. Si bien es una tecnología que permite gestionar la autonomía operacional de un bus con menor cantidad de baterías (lo que implica un menor costo de inversión y más liviano), la velocidad con 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.

En la actualidad es posible encontrar en la actualidad versiones de carga rápida, dispuestos en las paradas y con tiempos de carga entre 3 a 5 minutos, y de carga lenta, dispuestos en los terminales que cargan las baterías en 30 minutos.

Cargador por inducción: El desarrollo y despliegue del cargador por inducción no ha crecido notoriamente. Su principal desventaja es que se requiere que el cargador inductivo esté instalado a nivel de carpeta de rodado. También existen cargadores por inducción inalámbrica en donde 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.

Figura 7: Resumen comparativo de ventajas y desventajas de tecnologías de cargadores



DIMENSIONAMIENTO DE FLOTAS

8

8. DIMENSIONAMIENTO DE FLOTAS

Para dimensionar la flota de buses que presta el servicio en un cierto recorrido, han de considerarse los siguientes datos clave, a partir de los cuales se establece un modelo para determinar el número de buses requeridos.

- Distancia del recorrido.
- Número de paradas.
- Frecuencia de paso de un bus en cada parada.
- Número de horas en que se prestará el servicio.
- Cantidad de terminales del recorrido.

8.1 Modelo de dimensionamiento

El modelo considera la existencia de un recorrido entre 2 extremos. La distancia entre el extremo 1 y el extremo 2, es igual a la distancia que existe entre el extremo 2 y el extremo 1. El número de paradas por kilómetro de recorrido en cada sentido es el mismo. El tiempo de detención es el mismo en todas las paradas. Cada bus tiene un tiempo de detención obligada en uno de los extremos. La velocidad con que se desplaza el bus es constante. La frecuencia de pasada de cada bus por una parada es la misma durante todas las horas de prestación del servicio.

Tomando como datos de entrada los siguientes:

- d_1 = Distancia de recorrido en un sentido [Km].
- V_b = Velocidad media del bus [Km/h].
- n_p = número de paradas por kilómetro de recorrido.
- f = Frecuencia de paso de un bus en una parada [Min].
- t_{dp} = Tiempo de detención del bus en una parada [Min].
- t_{e1} = Tiempo de detención del bus en el extremo 1 [Min].

El tiempo de viaje del bus en un sentido es:

$$T_{v1} = 60 \cdot d_1 / V_b \text{ [Min]}$$

El tiempo acumulativo de detenciones en las paradas es:

$$T_{d1} = d_1 \cdot n_p \cdot t_{dp} \text{ [Min]}$$

El tiempo total de recorrido en un sentido es:

$$T_{r1} = T_{v1} + T_{d1} \text{ [Min]}$$

La condición de diseño es:

$$N_b \cdot f - (T_{r1} + t_{e1}) \geq f \text{ [Min]}$$

De este modo el número de buses es:

$$N_b^* \geq (T_{r1} + t_{e1}) / f - 1$$

Y el número de buses que presta el servicio en los dos sentidos de recorrido es:

$$N_b = 2 \cdot \text{Mayor entero} (N_b^*)$$



9

**RESULTADOS DE
DIMENSIONAMIENTO**

9. RESULTADOS DE DIMENSIONAMIENTO

Se presentan a continuación 3 ejemplos de dimensionamiento de flotas de buses, considerando distintas distancias de recorrido en un sentido (10, 20 y 30 Km) y frecuencia de paso por parada (entre 2 y 15 minutos). El número de paradas por kilómetro varía entre 1 y 4. El tiempo de detención en cada parada es de 1 minuto, el de detención en un extremo es 10 minutos y la velocidad del bus es de 20 Km/hora. El tiempo total de prestación de servicio son 17 horas al día.

Para recorrido de 10 Km en un sentido, la distancia diaria recorrida fluctúa entre 140 – 240 Km (1 terminal) y entre 120-220 Km (2 terminales). En el caso de 20 Km, la distancia diaria recorrida fluctúa entre 160 – 280 Km (1 terminal) y entre 120-240 m (2 terminales). Cuando el recorrido es de 30 Km, la distancia diaria recorrida fluctúa entre 180 – 300 Km (1 terminal) y entre 120-240 m (2 terminales). En las tablas los resultados asociados a las frecuencias más probables, que implican a 10, 6, 5 y 4 buses por hora en cada parada están destacadas en celeste.

Tabla 7: Dimensionamiento de flota para recorrido de 10 kilómetros por sentido de viaje

Total paradas	80	60	40	20	80	60	40	20	80	60	40	20
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Tiempo de recorrido [Min]				Número de buses en recorrido de ida			
2	78	68	58	48	150	130	110	90	39	34	29	24
3	52	46	38	32	150	130	110	90	26	23	19	16
4	38	34	28	24	150	130	110	90	19	17	14	12
5	30	26	22	18	150	130	110	90	15	13	11	9
6	26	22	18	16	150	130	110	90	13	11	9	8
7	22	18	16	14	150	130	110	90	11	9	8	7
8	18	16	14	12	150	130	110	90	9	8	7	6
9	16	14	12	10	150	130	110	90	8	7	6	5
10	14	12	10	8	150	130	110	90	7	6	5	4
11	14	12	10	8	150	130	110	90	7	6	5	4
12	12	10	8	8	150	130	110	90	6	5	4	4
13	12	10	8	6	150	130	110	90	6	5	4	3
14	10	8	8	6	150	130	110	90	5	4	4	3
15	10	8	6	6	150	130	110	90	5	4	3	3

Tabla 8: Dimensionamiento de flota para recorrido de 20 kilómetros por sentido de viaje

Total paradas	160	120	80	40	160	120	80	40	160	120	80	40
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Tiempo de recorrido [Min]				Número de buses en recorrido de ida			
2	148	128	108	88	290	250	210	170	74	64	54	44
3	98	86	72	58	290	250	210	170	49	43	36	29
4	74	64	54	44	290	250	210	170	37	32	27	22
5	58	50	42	34	290	250	210	170	29	25	21	17
6	48	42	36	28	290	250	210	170	24	21	18	14
7	42	36	30	24	290	250	210	170	21	18	15	12
8	36	32	26	22	290	250	210	170	18	16	13	11
9	32	28	24	18	290	250	210	170	16	14	12	9
10	28	24	20	16	290	250	210	170	14	12	11	8
11	26	22	18	16	290	250	210	170	13	11	9	8
12	24	20	18	14	290	250	210	170	12	10	9	7
13	22	18	16	12	290	250	210	170	11	9	8	6
14	20	18	14	12	290	250	210	170	10	9	7	6
15	18	16	14	10	290	250	210	170	9	8	7	5

Tabla 9: Dimensionamiento de flota para recorrido de 30 Km por sentido de viaje

Total paradas	80	60	40	20	80	60	40	20	80	60	40	20
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Tiempo de recorrido [Min]				Número de buses en recorrido de ida			
2	218	188	158	128	430	370	310	250	109	94	79	64
3	146	126	106	86	430	370	310	250	73	63	53	43
4	108	94	78	64	430	370	310	250	54	47	39	32
5	86	74	62	50	430	370	310	250	43	37	31	25
6	72	62	52	42	430	370	310	250	36	31	26	21
7	62	54	44	36	430	370	310	250	31	27	22	18
8	54	46	38	32	430	370	310	250	27	23	19	16
9	48	42	34	28	430	370	310	250	24	21	17	14
10	42	36	30	24	430	370	310	250	21	18	15	12
11	38	34	28	22	430	370	310	250	19	17	14	11
12	36	30	26	20	430	370	310	250	18	15	13	12
13	32	28	24	18	430	370	310	250	16	14	12	9
14	30	26	22	18	430	370	310	250	15	13	11	9
15	28	24	20	16	430	370	310	250	14	12	10	8

Cuando el número de paradas en un recorrido es alto (4 o 3 por kilómetro), la cantidad de buses de la flota es fuertemente dependiente del tiempo de detención en cada parada. En la Tabla 10 se muestra dicho efecto.

Tabla 10: Efecto del tiempo de detención en el número de buses para distancia de 10 Km

TIEMPO DE DETENCIÓN DE CADA PARADA

	30 segundos				1 minuto				2 minutos			
Total paradas	80	60	40	20	80	60	40	20	80	60	40	20
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Número total de buses				Número total de buses			
2	58	54	48	44	78	68	58	48	118	98	78	58
3	38	36	32	28	52	46	38	32	78	66	52	38
4	28	26	24	22	38	34	28	24	58	48	38	28
5	22	20	18	16	30	26	22	18	46	38	30	22
6	18	18	16	14	26	22	18	16	38	32	26	18
7	16	14	14	12	22	18	16	14	34	28	22	16
8	14	12	12	10	18	16	14	12	28	24	18	14
9	12	12	10	8	16	14	12	10	26	22	16	12
10	10	10	8	8	14	12	10	8	22	18	14	10
11	10	8	8	8	14	12	10	8	20	18	14	10
12	8	8	8	6	12	10	8	8	18	16	12	8
13	8	8	6	6	12	10	8	6	18	14	12	8
14	8	6	6	6	10	8	8	6	16	14	10	8
15	6	6	6	4	10	8	6	6	14	12	10	6

9.1 Número de terminales de carga y recorridos diarios

En cuanto al número de terminales de carga, se analizaron 2 casos, un solo terminal para todo el recorrido y luego otra opción con un terminal de carga en cada extremo del recorrido. Como se muestra en la Tabla 11 y la Tabla 12, el número de buses que compone la flota es el mismo, pero existe una diferencia en el número de recorridos diarios que esta realiza. Como se aprecia en las tablas, existe un recorrido más en el caso de 1 sólo terminal de carga. Esto ocurre porque se ha supuesto que en ambos casos el horario de prestación del servicio en cada sentido de viaje es el mismo, de este modo en el caso 1 es necesario enviar un conjunto de buses al extremo lejano² previo a la apertura del servicio y lo mismo ocurre cuando termina su horario. Allí los buses del extremo lejano deben retornar al terminal de carga. Esos traslados ocurren con buses fuera de servicio.

Tabla 11: Recorridos diarios de la flota de buses. Caso de 1 terminal de carga

Caso 1: Un Terminal de Carga

Total paradas	80	60	40	20	80	60	40	20
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Número de recorridos diarios			
2	78	68	58	48	7	8	10	12
3	52	46	38	32	7	8	10	12
4	38	34	28	24	7	8	10	12
5	30	26	22	18	7	8	10	12
6	26	22	18	16	7	8	10	12
7	22	18	16	14	7	8	10	12
8	18	16	14	12	7	8	10	12
9	16	14	12	10	7	8	10	12
10	14	12	10	8	7	8	10	12
11	14	12	10	8	7	8	10	12
12	12	10	8	8	7	8	10	12
13	12	10	8	6	7	8	10	12
14	10	8	8	6	7	8	10	12
15	10	8	6	6	7	8	10	12

² El número de buses a desplazar fuera de recorrido al extremo remoto es el necesario para establecer un circuito continuo de tránsito entre los extremos. Por ejemplo, para frecuencias de pasada de 6, 10, 12 y 15 minutos es de 10, 6, 5, y 4 buses respectivamente.

Tabla 12: Recorridos diarios de la flota de buses. Caso de 1 terminal de carga en cada extremo del recorrido

Caso 2: Dos Terminales de Carga

Total paradas	80	60	40	20	80	60	40	20
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Número de recorridos diarios			
2	78	68	58	48	6	7	9	11
3	52	46	38	32	6	7	9	11
4	38	34	28	24	6	7	9	11
5	30	26	22	18	6	7	9	11
6	26	22	18	16	6	7	9	11
7	22	18	16	14	6	7	9	11
8	18	16	14	12	6	7	9	11
9	16	14	12	10	6	7	9	11
10	14	12	10	8	6	7	9	11
11	14	12	10	8	6	7	9	11
12	12	10	8	8	6	7	9	11
13	12	10	8	6	6	7	9	11
14	10	8	8	6	6	7	9	11
15	10	8	6	6	6	7	9	11

A row of red electric buses parked at charging stations. The buses are lined up on the left side of the frame, and charging cables are plugged into the stations on the right. The background shows a clear blue sky and some greenery.

10

**REQUERIMIENTOS
DE ENERGÍA**

10. REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA

10.1 Supuestos basales

En estricto rigor, los requerimientos de potencia y energía que deben estar disponibles en los terminales de carga, dependen de las condiciones de servicio y el dimensionamiento de las flotas de buses que cumplen esas exigencias.

En este capítulo se muestran los requerimientos de demanda de energía correspondientes a los 3 ejemplos desarrollados en el capítulo 9. Para facilitar la discusión de los resultados se destacan previamente los supuestos principales.

- Los recorridos entre extremos estudiados tienen una longitud de 10, 20 y 30 Km respectivamente.
- El número de paradas por kilómetro en un mismo sentido de viaje analizadas escogidas son 4, 3, 2 y 1. Los 2 valores más altos están en línea con lo que ha definido el Ministerio de Transporte en las licitaciones indicadas en la sección 6.1.2.
- El tiempo de detención en cada parada, es de 1 minuto.
- Se estudiaron 2 casos para el terminal de carga: caso 1: 1 terminal para el recorrido y caso 2: 1 terminal en cada extremo del recorrido.
- Se supone una detención obligada de 10 minutos en sólo uno de los terminales de carga, independientemente del caso estudiado, 1 o 2 terminales de carga. El propósito de esta detención es permitir el reemplazo de conductor cuando corresponda y admitir cargas de oportunidad.
- La prestación del servicio se otorga durante 17 horas al día.
- El caso base se estudia para buses con baterías de 300 KWh de capacidad.
- La velocidad media de los buses es 20 Km/hora.
- El rendimiento promedio de los buses es de 1,5 KWh por kilómetro.
- Todos los buses tienen aire acondicionado frío/calor obtenido mediante tecnología inverter. El acondicionamiento de aire está en servicio tanto si el bus está en movimiento o si está detenido. El consumo de energía diario es de 70 KWh.

10.2 Requerimientos de energía sin admisión de carga de oportunidad

El supuesto de este análisis es que las baterías se cargan a plena capacidad en el terminal de carga y no se admiten cargas de oportunidad. Se comprueba si la capacidad de 300 KWh es suficiente, si eso no ocurre, se recomienda una batería de mayor capacidad de almacenamiento. Se analizan las 3 distancias de recorrido y los dos casos de terminales de carga.

Desde la Tabla 13 a la Tabla 25, los resultados mostrados en rojo sobre fondo rosado dan cuenta que la autonomía de 300 KWh de las baterías es insuficiente para sostener el recorrido diario de los buses. En cada apartado se indica la causa del problema y se recomienda la batería estándar que lo resuelve.

10.2.1 Resultados para recorrido de 10 Km en un sentido

Manteniendo todos los parámetros de entrada constantes, al disminuir el número de paradas por kilómetro, el tiempo de recorrido también lo hace y eso trae como consecuencia que se pueda emplear una menor cantidad de buses. Al bajar el número de buses es necesario aumentar el número de recorridos diarios y eso incrementa la demanda de energía.

Para el caso de 1 terminal de carga, según se aprecia en la Tabla 13, la energía de la batería de 300 KWh es insuficiente cuando el número de paradas por kilómetro es inferior a 4. La capacidad de la batería que resuelve el problema en función del número de paradas por kilómetro: 3, 2, 1, es de 350, 400 y 450 KWh. Otra opción es mantener el tipo de batería y recurrir a una carga de oportunidad ligera en las magnitudes diarias que muestra la Tabla 14. Si se procede de este modo, la carga de oportunidad en cada detención en el terminal estará en el rango entre 4,2 y 8,9 KWh. La potencia de carga de oportunidad en función del número de paradas por kilómetro fluctúa entre 2 y 64 KW.

Tabla 13: Demanda de Energía Caso de 1 terminal

Caso I: Un Terminal de Carga

Total paradas	80	60	40	20	80	60	40	20	80	60	40	20
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Número de recorridos diarios				Energía diaria demandada por bus [kWh]			
2	78	68	58	48	7	8	10	12	272	302	368	428
3	52	46	38	32	7	8	10	12	272	302	368	428
4	38	34	28	24	7	8	10	12	272	302	368	428
5	30	26	22	18	7	8	10	12	272	302	368	428
6	26	22	18	16	7	8	10	12	272	302	368	428
7	22	18	16	14	7	8	10	12	272	302	368	428
8	18	16	14	12	7	8	10	12	272	302	368	428
9	16	14	12	10	7	8	10	12	272	302	368	428
10	14	12	10	8	7	8	10	12	272	302	368	428
11	14	12	10	8	7	8	10	12	272	302	368	428
12	12	10	8	8	7	8	10	12	272	302	368	428
13	12	10	8	6	7	8	10	12	272	302	368	428
14	10	8	8	6	7	8	10	12	272	302	368	428
15	10	8	6	6	7	8	10	12	272	302	368	428

Tabla 14: Carga de oportunidad requerida para baterías de 300 KWh con uso de 100%.

Caso 1: Un Terminal de Carga

Total paradas	80	60	40	20	80	60	40	20	80	60	40	20
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Número de recorridos diarios				Carga de oportunidad diaria [kWh]			
2	78	68	58	48	7	8	10	12	0	2	68	128
3	52	46	38	32	7	8	10	12	0	2	68	128
4	38	34	28	24	7	8	10	12	0	2	68	128
5	30	26	22	18	7	8	10	12	0	2	68	128
6	26	22	18	16	7	8	10	12	0	2	68	128
7	22	18	16	14	7	8	10	12	0	2	68	128
8	18	16	14	12	7	8	10	12	0	2	68	128
9	16	14	12	10	7	8	10	12	0	2	68	128
10	14	12	10	8	7	8	10	12	0	2	68	128
11	14	12	10	8	7	8	10	12	0	2	68	128
12	12	10	8	8	7	8	10	12	0	2	68	128
13	12	10	8	6	7	8	10	12	0	2	68	128
14	10	8	8	6	7	8	10	12	0	2	68	128
15	10	8	6	6	7	8	10	12	0	2	68	128

Para el caso de 2 terminales de carga, según se aprecia en la Tabla 15, la energía de la batería de 300 KWh es insuficiente cuando el número de paradas por kilómetro es inferior a 3. La capacidad de la batería que resuelve el problema en función del número de paradas por kilómetro: 2 y 1, es de 350 y 400 KWh. Otra opción es mantener el tipo de batería y recurrir a una carga de oportunidad ligera en las magnitudes diarias que muestra la Tabla 16. Si se procede de este modo, la carga de oportunidad en cada detención en el terminal estará entre 4,2 y 8,9 KWh. La potencia de carga de oportunidad en función del número de paradas por kilómetro fluctúa entre 25 y 53 KW.

Tabla 15: Demanda de Energía Caso de 2 terminales

Caso 2: Dos Terminales de Carga

Total paradas	80	60	40	20	80	60	40	20	80	60	40	20
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Número de recorridos diarios				Energía diaria demandada por bus [KWh]			
2	78	68	58	48	6	7	9	11	242	272	338	398
3	52	46	38	32	6	7	9	11	242	272	338	398
4	38	34	28	24	6	7	9	11	242	272	338	398
5	30	26	22	18	6	7	9	11	242	272	338	398
6	26	22	18	16	6	7	9	11	242	272	338	398
7	22	18	16	14	6	7	9	11	242	272	338	398
8	18	16	14	12	6	7	9	11	242	272	338	398
9	16	14	12	10	6	7	9	11	242	272	338	398
10	14	12	10	8	6	7	9	11	242	272	338	398
11	14	12	10	8	6	7	9	11	242	272	338	398
12	12	10	8	8	6	7	9	11	242	272	338	398
13	12	10	8	6	6	7	9	11	242	272	338	398
14	10	8	8	6	6	7	9	11	242	272	338	398
15	10	8	6	6	6	7	9	11	242	272	338	398

Tabla 16: Carga de oportunidad requerida para baterías de 300 KWh con uso de 100%.

Caso 2: Dos Terminales de Carga

Total paradas	80	60	40	20	80	60	40	20	80	60	40	20
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Número de recorridos diarios				Carga de oportunidad diaria [kWh]			
2	78	68	58	48	6	7	9	11	0	0	38	98
3	52	46	38	32	6	7	9	11	0	0	38	98
4	38	34	28	24	6	7	9	11	0	0	38	98
5	30	26	22	18	6	7	9	11	0	0	38	98
6	26	22	18	16	6	7	9	11	0	0	38	98
7	22	18	16	14	6	7	9	11	0	0	38	98
8	18	16	14	12	6	7	9	11	0	0	38	98
9	16	14	12	10	6	7	9	11	0	0	38	98
10	14	12	10	8	6	7	9	11	0	0	38	98
11	14	12	10	8	6	7	9	11	0	0	38	98
12	12	10	8	8	6	7	9	11	0	0	38	98
13	12	10	8	6	6	7	9	11	0	0	38	98
14	10	8	8	6	6	7	9	11	0	0	38	98
15	10	8	6	6	6	7	9	11	0	0	38	98

10.2.2 Resultados para recorrido de 20 Km en un sentido

Manteniendo todos los parámetros de entrada constantes, al disminuir el número de paradas por kilómetro, el tiempo de recorrido también lo hace y eso trae como consecuencia que se pueda emplear una menor cantidad de buses. Al bajar el número de buses es necesario aumentar el número de recorridos diarios y eso incrementa la demanda de energía.

Para el caso de 1 terminal de carga, según se aprecia en la Tabla 17, la energía de la batería de 300 KWh es insuficiente cuando el número de paradas por kilómetro es inferior a 4. La capacidad de la batería que resuelve el problema en función del número de paradas por kilómetro: 3, 2, 1, es de 400, 400 y 500 KWh. Otra opción es mantener el tipo de batería y recurrir a una carga de oportunidad ligera en las magnitudes diarias que muestra la Tabla 14. Si se procede de este modo, la carga de oportunidad en cada detención en el terminal estará en el rango entre 11,6 y 27,1 KWh. La potencia requerida para carga de oportunidad en función del número de paradas por kilómetro fluctúa entre 69 y 163 KW.

Tabla 17: Demanda de Energía Caso de 1 terminal

Caso 1: Un Terminal de Carga

Total paradas	160	120	80	40	160	120	80	40	160	120	80	40
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Número de recorridos diarios				Energía diaria demandada por bus [KWh]			
2	148	128	108	88	4	5	5	7	300	369	358	490
3	98	86	72	58	4	5	5	7	300	369	358	490
4	74	64	54	44	4	5	5	7	300	369	358	490
5	58	50	42	34	4	5	5	7	300	369	358	490
6	48	42	36	28	4	5	5	7	300	369	358	490
7	42	36	30	24	4	5	5	7	300	369	358	490
8	36	32	26	22	4	5	5	7	300	369	358	490
9	32	28	24	18	4	5	5	7	300	369	358	490
10	28	24	20	16	4	5	5	7	300	369	358	490
11	26	22	18	16	4	5	5	7	300	369	358	490
12	24	20	18	14	4	5	5	7	300	369	358	490
13	22	18	16	12	4	5	5	7	300	369	358	490
14	20	18	14	12	4	5	5	7	300	369	358	490
15	18	16	14	10	4	5	5	7	300	369	358	490

Tabla 18: Carga de oportunidad requerida para baterías de 300 KWh con uso de 100%.

Caso 1: Un Terminal de Carga

Total paradas	160	120	80	40	160	120	80	40	160	120	80	40
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Número de recorridos diarios				Carga de oportunidad diaria [kWh]			
2	148	128	108	88	4	5	5	7	0	69	58	190
3	98	86	72	58	4	5	5	7	0	69	58	190
4	74	64	54	44	4	5	5	7	0	69	58	190
5	58	50	42	34	4	5	5	7	0	69	58	190
6	48	42	36	28	4	5	5	7	0	69	58	190
7	42	36	30	24	4	5	5	7	0	69	58	190
8	36	32	26	22	4	5	5	7	0	69	58	190
9	32	28	24	18	4	5	5	7	0	69	58	190
10	28	24	20	16	4	5	5	7	0	69	58	190
11	26	22	18	16	4	5	5	7	0	69	58	190
12	24	20	18	14	4	5	5	7	0	69	58	190
13	22	18	16	12	4	5	5	7	0	69	58	190
14	20	18	14	12	4	5	5	7	0	69	58	190
15	18	16	14	10	4	5	5	7	0	69	58	190

Para el caso de 2 terminales de carga, según se aprecia en la Tabla 19, la energía de la batería de 300 KWh es insuficiente cuando el número de paradas por kilómetro es igual a 3 o igual a 1. La capacidad de la batería que resuelve el problema en función del número de paradas por kilómetro: 3 y 1, es de 350 y 450 KWh. Otra opción es mantener el tipo de batería y recurrir a una carga de oportunidad ligera en las magnitudes diarias que muestra la Tabla 20. Si se procede de este modo, la carga de oportunidad en cada detención en el terminal estará en el rango entre 2,3 y 21,7 KWh. La potencia de carga de oportunidad en función del número de paradas por kilómetro fluctúa entre 13 y 130 KW, estando el mayor valor en el límite del dimensionamiento del cargador adaptado según se verá en la sección 11.

Tabla 19: Demanda de Energía Caso de 2 terminales

Caso 2: Dos Terminales de Carga

Total paradas	160	120	80	40	160	120	80	40	160	120	80	40
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Número de recorridos diarios				Energía diaria demandada por bus [KWh]			
2	148	128	108	88	3	4	4	6	240	309	298	430
3	98	86	72	58	3	4	4	6	240	309	298	430
4	74	64	54	44	3	4	4	6	240	309	298	430
5	58	50	42	34	3	4	4	6	240	309	298	430
6	48	42	36	28	3	4	4	6	240	309	298	430
7	42	36	30	24	3	4	4	6	240	309	298	430
8	36	32	26	22	3	4	4	6	240	309	298	430
9	32	28	24	18	3	4	4	6	240	309	298	430
10	28	24	20	16	3	4	4	6	240	309	298	430
11	26	22	18	16	3	4	4	6	240	309	298	430
12	24	20	18	14	3	4	4	6	240	309	298	430
13	22	18	16	12	3	4	4	6	240	309	298	430
14	20	18	14	12	3	4	4	6	240	309	298	430
15	18	16	14	10	3	4	4	6	240	309	298	430

Tabla 20: Carga de oportunidad requerida para baterías de 300 KWh con uso de 100%.

Caso 2: Dos Terminales de Carga

Total paradas	160	120	80	40	160	120	80	40	160	120	80	40
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Número de recorridos diarios				Carga de oportunidad diaria [kWh]			
2	148	128	108	88	3	4	4	6	0	9	0	130
3	98	86	72	58	3	4	4	6	0	9	0	130
4	74	64	54	44	3	4	4	6	0	9	0	130
5	58	50	42	34	3	4	4	6	0	9	0	130
6	48	42	36	28	3	4	4	6	0	9	0	130
7	42	36	30	24	3	4	4	6	0	9	0	130
8	36	32	26	22	3	4	4	6	0	9	0	130
9	32	28	24	18	3	4	4	6	0	9	0	130
10	28	24	20	16	3	4	4	6	0	9	0	130
11	26	22	18	16	3	4	4	6	0	9	0	130
12	24	20	18	14	3	4	4	6	0	9	0	130
13	22	18	16	12	3	4	4	6	0	9	0	130
14	20	18	14	12	3	4	4	6	0	9	0	130
15	18	16	14	10	3	4	4	6	0	9	0	130

10.2.3 Resultados para recorrido de 30 Km en un sentido

Manteniendo todos los parámetros de entrada constantes, al disminuir el número de paradas por kilómetro, el tiempo de recorrido también lo hace y eso trae como consecuencia que se pueda emplear una menor cantidad de buses. Al bajar el número de buses es necesario aumentar el número de recorridos diarios y eso incrementa la demanda de energía.

Para el caso de 1 terminal de carga, según se aprecia en la Tabla 21, la energía de la batería de 300 KWh es insuficiente para todo el rango de paradas por kilómetro. La capacidad de la batería que resuelve el problema en función del número de paradas por kilómetro: 4, 3, 2, 1, es de 350, 350, 450 y 550 KWh. Otra opción es mantener el tipo de batería y recurrir a una carga de oportunidad ligera en las magnitudes diarias que muestra la Tabla 22. Si se procede de este modo, la carga de oportunidad en cada detención en el terminal estará en el rango entre 7 y 43,8 KWh. La potencia de carga de oportunidad en función del número de paradas por kilómetro fluctúa entre 42, 186 y 262 KW, estas 2 últimas magnitudes superarían la capacidad de los cargadores de energía y desde este punto de vista el uso de baterías de 300 KWh ya no es atractivo.

Tabla 21: Demanda de Energía Caso de 1 terminal

Caso 1: Un Terminal de Carga

Total paradas	240	180	120	60	240	180	120	60	240	180	120	60
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Número de recorridos diarios				Energía diaria demandada por bus [KWh]			
2	218	188	158	128	3	3	4	5	329	321	424	519
3	146	126	106	86	3	3	4	5	329	321	424	519
4	108	94	78	64	3	3	4	5	329	321	424	519
5	86	74	62	50	3	3	4	5	329	321	424	519
6	72	62	52	42	3	3	4	5	329	321	424	519
7	62	54	44	36	3	3	4	5	329	321	424	519
8	54	46	38	32	3	3	4	5	329	321	424	519
9	48	42	34	28	3	3	4	5	329	321	424	519
10	42	36	30	24	3	3	4	5	329	321	424	519
11	38	34	28	22	3	3	4	5	329	321	424	519
12	36	30	26	20	3	3	4	5	329	321	424	519
13	32	28	24	18	3	3	4	5	329	321	424	519
14	30	26	22	18	3	3	4	5	329	321	424	519
15	28	24	20	16	3	3	4	5	329	321	424	519

Tabla 22: Carga de oportunidad requerida para baterías de 300 KWh con uso de 100%.

Caso 1: Un Terminal de Carga

Total paradas / km	240				180				120				60							
	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1				
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses								Número de recorridos diarios								Carga de oportunidad diaria [kWh]			
2	218	188	158	128	3	3	4	5	29	21	124	219	29	21	124	219				
3	146	126	106	86	3	3	4	5	29	21	124	219	29	21	124	219				
4	108	94	78	64	3	3	4	5	29	21	124	219	29	21	124	219				
5	86	74	62	50	3	3	4	5	29	21	124	219	29	21	124	219				
6	72	62	52	42	3	3	4	5	29	21	124	219	29	21	124	219				
7	62	54	44	36	3	3	4	5	29	21	124	219	29	21	124	219				
8	54	46	38	32	3	3	4	5	29	21	124	219	29	21	124	219				
9	48	42	34	28	3	3	4	5	29	21	124	219	29	21	124	219				
10	42	36	30	24	3	3	4	5	29	21	124	219	29	21	124	219				
11	38	34	28	22	3	3	4	5	29	21	124	219	29	21	124	219				
12	36	30	26	20	3	3	4	5	29	21	124	219	29	21	124	219				
13	32	28	24	18	3	3	4	5	29	21	124	219	29	21	124	219				
14	30	26	22	18	3	3	4	5	29	21	124	219	29	21	124	219				
15	28	24	20	16	3	3	4	5	29	21	124	219	29	21	124	219				

Para el caso de 2 terminales de carga, según se aprecia en la Tabla 23, la energía de la batería de 300 KWh es insuficiente cuando el número de paradas por kilómetro es inferior a 3. La capacidad de la batería que resuelve el problema en función del número de paradas por kilómetro: 2 y 1, es de 350 y 450 KWh. . Otra opción es mantener el tipo de batería y recurrir a una carga de oportunidad ligera en las magnitudes diarias que muestra la Tabla 24 . Si se procede de este modo, la carga de oportunidad en cada detención en el terminal estará en el rango entre 11,3 y 32,3 KWh. La potencia de carga de oportunidad en función del número de paradas por kilómetro fluctúa entre 68 y 193 KW, esta última magnitud superaría la capacidad de los cargadores de energía y desde este punto de vista el uso de baterías de 300 KWh para un recorrido de 30 Km con detención por kilómetro ya no es atractiva.

Tabla 23: Demanda de Energía Caso de 2 terminales

Caso 2: Dos Terminales de Carga

Total paradas	240	180	120	60	240	180	120	60	240	180	120	60
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Número de recorridos diarios				Energía diaria demandada por bus [KWh]			
2	218	188	158	128	2	2	3	4	239	231	334	429
3	146	126	106	86	2	2	3	4	239	231	334	429
4	108	94	78	64	2	2	3	4	239	231	334	429
5	86	74	62	50	2	2	3	4	239	231	334	429
6	72	62	52	42	2	2	3	4	239	231	334	429
7	62	54	44	36	2	2	3	4	239	231	334	429
8	54	46	38	32	2	2	3	4	239	231	334	429
9	48	42	34	28	2	2	3	4	239	231	334	429
10	42	36	30	24	2	2	3	4	239	231	334	429
11	38	34	28	22	2	2	3	4	239	231	334	429
12	36	30	26	20	2	2	3	4	239	231	334	429
13	32	28	24	18	2	2	3	4	239	231	334	429
14	30	26	22	18	2	2	3	4	239	231	334	429
15	28	24	20	16	2	2	3	45	239	231	334	429

Tabla 24: Carga de oportunidad requerida para baterías de 300 KWh con uso de 100%.

Caso 2: Dos Terminales de Carga

Total paradas	240	180	120	60	240	180	120	60	240	180	120	60
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Número de recorridos diarios				Energía diaria demandada por bus [KWh]			
2	218	188	158	128	2	2	3	4	0	0	34	129
3	146	126	106	86	2	2	3	4	0	0	34	129
4	108	94	78	64	2	2	3	4	0	0	34	129
5	86	74	62	50	2	2	3	4	0	0	34	129
6	72	62	52	42	2	2	3	4	0	0	34	129
7	62	54	44	36	2	2	3	4	0	0	34	129
8	54	46	38	32	2	2	3	4	0	0	34	129
9	48	42	34	28	2	2	3	4	0	0	34	129
10	42	36	30	24	2	2	3	4	0	0	34	129
11	38	34	28	22	2	2	3	4	0	0	34	129
12	36	30	26	20	2	2	3	4	0	0	34	129
13	32	28	24	18	2	2	3	4	0	0	34	129
14	30	26	22	18	2	2	3	4	0	0	34	129
15	28	24	20	16	2	2	3	4	0	0	34	129

10.3 Energía para ciclo de uso entre 80% y 20% con carga de oportunidad

El supuesto de este análisis es que las baterías de 300 KWh se cargan a un 80 % de su capacidad en el terminal de carga durante la noche (240 KWh) y se mantiene una carga mínima de 20% (60 KWh). Así la energía inicial disponible para circular en cada bus es 180 KWh. En el ciclo diario la recarga de energía debe abastecer hasta 180 KWh mediante cargas de oportunidad.

Se comprueba si la capacidad de 300 KWh es suficiente, si eso no ocurre, se recomienda una batería de mayor capacidad de almacenamiento. Se analizan las 3 distancias de recorrido y los dos casos de terminales de carga.

La carga de oportunidad ocurre cada vez que el bus visita el terminal de carga. La energía debe suministrarse en un lapso de 10 minutos.

10.3.1 Resultados para recorrido de 10 Km en un sentido

Para el caso de 1 terminal de carga, según se aprecia en la Tabla 25, la energía de 180 KWh inicialmente disponible en la batería es insuficiente para todo el rango de paradas por kilómetro, debiéndose recurrir a la carga de oportunidad por un lapso de 10 minutos en cada parada en el terminal. En el extremo derecho de la tabla, se aprecia que las cargas de oportunidad son de 13 a 21 KWh en cada visita. Para inyectar esas magnitudes de energía en el tiempo disponible, la potencia de carga de oportunidad estará en el rango de 79 a 124 KW, según sea el caso.

Tabla 25: Ciclo de uso 80%-20% con carga de oportunidad. Caso 1 terminal

Caso I: Dos Terminales de Carga

Carga 80%-20% + Carga de oportunidad

Total paradas	80				60				40				20							
	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1				
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1				
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Número de recorridos diarios				Energía diaria demandada por bus [kWh]				Carga de oportunidad diaria [kWh]				Carga de oportunidad por recorrido [kWh]			
2	78	68	58	48	7	8	10	12	272	302	368	428	92	122	188	248	13	15	19	21
3	52	46	38	32	7	8	10	12	272	302	368	428	92	122	188	248	13	15	19	21
4	38	34	28	24	7	8	10	12	272	302	368	428	92	122	188	248	13	15	19	21
5	30	26	22	18	7	8	10	12	272	302	368	428	92	122	188	248	13	15	19	21
6	26	22	18	16	7	8	10	12	272	302	368	428	92	122	188	248	13	15	19	21
7	22	18	16	14	7	8	10	12	272	302	368	428	92	122	188	248	13	15	19	21
8	18	16	14	12	7	8	10	12	272	302	368	428	92	122	188	248	13	15	19	21
9	16	14	12	10	7	8	10	12	272	302	368	428	92	122	188	248	13	15	19	21
10	14	12	10	8	7	8	10	12	272	302	368	428	92	122	188	248	13	15	19	21
11	14	12	10	8	7	8	10	12	272	302	368	428	92	122	188	248	13	15	19	21
12	12	10	8	8	7	8	10	12	272	302	368	428	92	122	188	248	13	15	19	21
13	12	10	8	6	7	8	10	12	272	302	368	428	92	122	188	248	13	15	19	21
14	10	8	8	6	7	8	10	12	272	302	368	428	92	122	188	248	13	15	19	21
15	10	8	6	6	7	8	10	12	272	302	368	428	92	122	188	248	13	15	19	21

Para el caso de 2 terminales de carga, según se aprecia en la Tabla 26, la energía de 180 KWh inicialmente disponible en la batería es insuficiente para todo el rango de paradas por kilómetro, debiéndose recurrir a la carga de oportunidad por un lapso de 10 minutos en cada parada en el terminal. En el extremo derecho de la tabla, se aprecia que las cargas de oportunidad son de 10 a 20 KWh en cada visita. Para inyectar esas magnitudes de energía en el tiempo disponible, la potencia de carga de oportunidad estará en el rango de 53 a 109 KW, según sea el caso.

Tabla 26: Ciclo de uso 80%-20% con carga de oportunidad. Caso 2 terminales

Caso 2: Dos Terminales de Carga

Carga 80%-20% + Carga de oportunidad en un extremo

Total paradas	80				60				40				20							
	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1				
paradas / km	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Frecuencia pasada del bus [min]	Número total de buses				Número de recorridos diarios				Energía diaria demandada por bus [kWh]				Carga de oportunidad diaria [kWh]				Carga de oportunidad por recorrido [kWh]			
2	78	68	58	48	6	7	9	11	242	272	338	398	62	92	158	218	10	13	18	20
3	52	46	38	32	6	7	9	11	242	272	338	398	62	92	158	218	10	13	18	20
4	38	34	28	24	6	7	9	11	242	272	338	398	62	92	158	218	10	13	18	20
5	30	26	22	18	6	7	9	11	242	272	338	398	62	92	158	218	10	13	18	20
6	26	22	18	16	6	7	9	11	242	272	338	398	62	92	158	218	10	13	18	20
7	22	18	16	14	6	7	9	11	242	272	338	398	62	92	158	218	10	13	18	20
8	18	16	14	12	6	7	9	11	242	272	338	398	62	92	158	218	10	13	18	20
9	16	14	12	10	6	7	9	11	242	272	338	398	62	92	158	218	10	13	18	20
10	14	12	10	8	6	7	9	11	242	272	338	398	62	92	158	218	10	13	18	20
11	14	12	10	8	6	7	9	11	242	272	338	398	62	92	158	218	10	13	18	20
12	12	10	8	8	6	7	9	11	242	272	338	398	62	92	158	218	10	13	18	20
13	12	10	8	6	6	7	9	11	242	272	338	398	62	92	158	218	10	13	18	20
14	10	8	8	6	6	7	9	11	242	272	338	398	62	92	158	218	10	13	18	20
15	10	8	6	6	6	7	9	11	242	272	338	398	62	92	158	218	10	13	18	20

10.3.2 Resultados para recorrido de 20 Km en un sentido

Para un recorrido en un sentido de 20 Km, el uso de carga de oportunidad empleando baterías de 300 KWh en cada bus, no es eficiente y es mejor emplear unas de mayor capacidad de almacenamiento.

- **Caso de 1 terminal de carga:** se estudiaron dos capacidades de baterías. Cuando la batería es de 300 KWh el rango de energía de carga de oportunidad fluctúa entre 30 y 44 KWh por visita al terminal, lo que redundaría en el empleo de cargadores de potencia entre 180 y 266 KW, magnitudes que superan la capacidad del cargador de energía requerido. Si se reemplazan esas baterías por otras de 450 KWh, la energía de carga de oportunidad fluctúa entre 7 y 31 KWh, lo que implica usar cargadores de 45, 118, 105 y a 189 KW según corresponda. La última magnitud, por sobre la capacidad de los cargadores de energía, se registra para el caso de 1 parada por kilómetro y el empleo de esta estrategia requeriría del uso de una batería de unos 550 KW.
- **Caso de 2 terminales de carga:** se estudiaron dos capacidades de baterías. Cuando la batería es de 300 KWh el rango de energía de carga de oportunidad fluctúa entre 20 y 42 KWh por visita al terminal, lo que redundaría en el empleo de cargadores de potencia entre 119 y 250 KW. Si se reemplazan esas baterías por otras de 450 KWh, el rango de energía de carga de oportunidad fluctúa entre 7 y 27 KWh, lo que implica usar cargadores de 41 a 160 KW según corresponda.

10.3.3 Resultados para recorrido de 30 Km en un sentido

Para un recorrido en un sentido de 30 Km, el uso de carga de oportunidad empleando baterías de 300 KWh en cada bus, pareciera no ser eficiente y es mejor emplear unas de mayor capacidad de almacenamiento.

- **Caso de 1 terminal de carga:** se estudiaron dos capacidades de baterías. Cuando la batería es de 300 KWh el rango de energía de carga de oportunidad fluctúa entre 50 y 68 KWh por visita al terminal, lo que redundaría en el empleo de cargadores de potencia entre 298 y 406 KW. Si se reemplazan esas baterías por otras de 500 KWh, el rango de energía de carga de oportunidad fluctúa entre 7 y 44 KWh, lo que implica usar cargadores de 42 a 262 KW según corresponda.
- **Caso de 2 terminales de carga:** se estudiaron dos capacidades de baterías. Cuando la batería es de 300 KWh el rango de energía de carga de oportunidad fluctúa entre 30 y 62 KWh por visita al terminal, lo que redundaría en el empleo de cargadores de potencia entre 177 y 373 KW. Si se reemplazan esas baterías por otras de 500 KWh, el rango de energía de carga de oportunidad fluctúa entre 11 y 32 KWh, lo que implica usar cargadores de 68 a 193 KW según corresponda.



TT

**INFRAESTRUCTURA
DE CARGA**

11. INFRAESTRUCTURA DE CARGA

El propósito de este capítulo es analizar la magnitud de potencia demandada en los terminales de carga de las flotas de buses eléctricos. Se estudia la potencia de los cargadores y la demanda agregada de potencia de la flota. Los resultados que se mostrarán a continuación corresponden a los 3 ejemplos desarrollados en el capítulo 9.

Los parámetros que afectan los resultados son: la energía de la batería, la frecuencia de paso de un bus por cada punto de detención, el número de paradas por kilómetro de recorrido, el número de horas de servicio, la duración y el tipo de ciclo de carga, y el número diario de horas en que está suspendido el servicio.

En función de los resultados presentados en el capítulo 10, se escoge una batería estándar adaptada a las necesidades, esto último se explica con más detalle en cada situación estudiada.

En todo el análisis, se muestran resultados para dos casos: Caso 1 considerando un terminal de carga para el circuito y Caso 2 con un terminal de carga en cada extremo de recorrido.

11.1 Supuestos basales

11.1.1 Régimen de uso del 100% de capacidad de la batería

11.1.1.1 Caso 1: un terminal de carga en el recorrido.

Se emplea en este análisis una batería de 300 KWh, que resulta adecuada para el servicio, salvo cuando se consideran 2 y 1 parada por kilómetro de recorrido. En esos casos se considera una carga de oportunidad en cada detención en el terminal estará en el rango entre 4,2 y 8,9 KWh.

El análisis correspondiente a una situación con baterías de 300 KWh y tiempo de carga de 3 horas, inicialmente sin considerar la posibilidad de más de una carga grupal diaria, se muestra en la Tabla 27. Se aprecia en ella que el cargador debe ser de 100 KW y en el terminal habrá a lo menos tantos cargadores como buses, estando eso reflejado en la demanda de potencia.

Si se toma en cuenta el máximo de cargas diferidas que se pueden hacer secuencialmente durante las horas de suspensión del servicio (en este caso 2), se atienden secuencialmente dos buses con un mismo cargador. El número de cargadores baja a la mitad y en consecuencia también lo hace la demanda del terminal.

En la Tabla 28 se repite el mismo análisis, esta vez considerando un tiempo de carga de 4 horas. Los resultados muestran que la potencia del cargador adaptado es de 75 KW y no existe la posibilidad de compartir un mismo cargador entre dos buses. El número de cargadores es igual al número de buses.

Al comparar los resultados de ambas tablas, se concluye que la mejor opción es la un tiempo de carga máximo de 3 horas admitiendo 2 cargas diferenciadas. Eso permite minimizar el número de cargadores y la demanda máxima del terminal.

La potencia demandada para carga de oportunidad es siempre inferior a la de los cargadores.

En la Tabla 29, considerando tiempos máximos de carga de 3 y 4 horas, se muestra el resultado de aplicar el ciclo de carga de las baterías entre 80% y 20%, admitiendo carga de oportunidad. La potencia de los cargadores y las demandas de los terminales, corresponden al 80% de los valores expuestos en la Tabla 27 y la Tabla 28.

Es importante destacar que salvo en el caso de tiempo de carga de 3 horas y 4 paradas por kilómetro, la potencia requerida para la carga de oportunidad supera a la capacidad de los cargadores. Esto implicaría establecer un diseño especial del terminal con un patio de carga de oportunidad, para no sobredimensionar la totalidad de la potencia de los cargadores ni incrementar la demanda máxima del terminal³.

Tabla 27: Potencia del cargador y demanda del terminal. Tiempo de carga de 3 horas.

Tiempo de carga 3 [Horas]

Frecuencia pasada del bus [min]	Nº de buses por Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]			
2	78 68 58 48	100,00	7.800	6.800	5.800	4.800	2	100,00	3.900	3.400	2.900	2.400
3	52 46 38 32	100,00	5.200	4.600	3.800	3.200	2	100,00	2.600	2.300	1.900	1.600
4	38 34 28 24	100,00	3.800	3.400	2.800	2.400	2	100,00	1.900	1.700	1.400	1.200
5	30 26 22 18	100,00	3.000	2.600	2.200	1.800	2	100,00	1.500	1.300	1.100	900
6	26 22 18 16	100,00	2.600	2.200	1.800	1.600	2	100,00	1.300	1.100	900	800
7	22 18 16 14	100,00	2.200	1.800	1.600	1.400	2	100,00	1.100	900	800	700
8	18 16 14 12	100,00	1.800	1.600	1.400	1.200	2	100,00	900	800	700	600
9	16 14 12 10	100,00	1.600	1.400	1.200	1.000	2	100,00	800	700	600	500
10	14 12 10 8	100,00	1.400	1.200	1.000	800	2	100,00	700	600	500	400
11	14 12 10 8	100,00	1.400	1.200	1.000	800	2	100,00	700	600	500	400
12	12 10 8 8	100,00	1.200	1.000	800	800	2	100,00	600	500	400	400
13	12 10 8 6	100,00	1.200	1.000	800	600	2	100,00	600	500	400	300
14	10 8 8 6	100,00	1.000	800	800	600	2	100,00	500	400	400	300
15	10 8 6 6	100,00	1.000	800	600	600	2	100,00	500	400	300	300
Potencia Nominal del Terminal [KW]			0	2	41	64			0	2	41	64
Total Paradas	80 60 40 20		80	60	40	20			80	60	40	20
Paradas / Km	4 3 2 1		4	3	2	1			4	3	2	1

³ Cómo un conjunto restringido de buses visita el terminal en cada recorrido, se diseña un patios especial con un número mínimo de cargadores igual al de los buses que arriban al terminal. Además la carga se realiza durante el día y su demanda es sustantivamente menor que la demanda del terminal durante la noche.

Tabla 28: Potencia del cargador y demanda del terminal. Tiempo de carga de 4 horas.

Tiempo de carga 4 [Horas]

Frecuencia pasada del bus [min]	Nº de buses por Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]			
2	78 68 58 48	75	5.850	5.100	4.350	3.600	1	75	5.850	5.100	4.350	3.600
3	52 46 38 32	75	3.900	3.450	2.850	2.400	1	75	3.900	3.450	2.850	2.400
4	38 34 28 24	75	2.850	2.550	2.100	1.800	1	75	2.850	2.550	2.100	1.800
5	30 26 22 18	75	2.250	1.950	1.650	1.350	1	75	2.250	1.950	1.650	1.350
6	26 22 18 16	75	1.950	1.650	1.350	1.200	1	75	1.950	1.650	1.350	1.200
7	22 18 16 14	75	1.650	1.350	1.200	1.050	1	75	1.650	1.350	1.200	1.050
8	18 16 14 12	75	1.350	1.200	1.050	900	1	75	1.350	1.200	1.050	900
9	16 14 12 10	75	1.200	1.050	900	750	1	75	1.200	1.050	900	750
10	14 12 10 8	75	1.050	900	750	600	1	75	1.050	900	750	600
11	14 12 10 8	75	1.050	900	750	600	1	75	1.050	900	750	600
12	12 10 8 8	75	900	750	600	600	1	75	900	750	600	600
13	12 10 8 6	75	900	750	600	450	1	75	900	750	600	450
14	10 8 8 6	75	750	600	600	450	1	75	750	600	600	450
15	10 8 6 6	75	750	600	450	450	1	75	750	600	450	450
Potencia Nominal del Terminal [KW]			0	2	41	64			0	2	41	64
Total Paradas	80 60 40 20		80	60	40	20			80	60	40	20
Paradas / Km	4 3 2 1		4	3	2	1			4	3	2	1

Tabla 29: Ciclo de uso 80%-20% con carga de oportunidad. Tiempos de carga 3 y 4 horas

Tiempo de carga 3 [Horas]

Tiempo de carga 4 [Horas]

Frecuencia pasada del bus [min]	Nº de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]			
2	78 68 58 48	2	80,00	3.120	2.720	2.320	1.920	1	60	4.680	4.080	3.480	2.880
3	52 46 38 32	2	80,00	2.080	1.840	1.520	1.280	1	60	3.120	2.760	2.280	1.920
4	38 34 28 24	2	80,00	1.520	1.360	1.120	960	1	60	2.280	2.040	1.680	1.440
5	30 26 22 18	2	80,00	1.200	1.040	880	720	1	60	1.800	1.560	1.320	1.080
6	26 22 18 16	2	80,00	1.040	880	720	640	1	60	1.560	1.320	1.080	960
7	22 18 16 14	2	80,00	880	720	640	560	1	60	1.320	1.080	960	840
8	18 16 14 12	2	80,00	720	640	560	480	1	60	1.080	960	840	720
9	16 14 12 10	2	80,00	640	560	480	400	1	60	960	840	720	600
10	14 12 10 8	2	80,00	560	480	400	320	1	60	840	720	600	480
11	14 12 10 8	2	80,00	560	480	400	320	1	60	840	720	600	480
12	12 10 8 8	2	80,00	480	400	320	320	1	60	720	600	480	480
13	12 10 8 6	2	80,00	480	400	320	240	1	60	720	600	480	360
14	10 8 8 6	2	80,00	400	320	320	240	1	60	600	480	480	360
15	10 8 6 6	2	80,00	400	320	240	240	1	60	600	480	360	360
Potencia Nominal del Terminal [KW]				79	92	113	124			79	92	113	124
Total Paradas	80 60 40 20			80	60	40	20			80	60	40	20
Paradas / Km	4 3 2 1			4	3	2	1			4	3	2	1

11.1.1.2 Caso 2: un terminal de carga en cada extremo del recorrido.

Se emplea en este análisis una batería de 300 KWh, que resulta adecuada para el servicio, salvo cuando se consideran 2 y 1 parada por kilómetro de recorrido. En esos casos se considera una carga de oportunidad en cada detención en el terminal estará en el rango entre 4,2 y 8,9 KWh.

El análisis correspondiente a una situación con baterías de 300 KWh y tiempo de carga de 3 horas, inicialmente sin considerar la posibilidad de más de una carga grupal diaria, se muestra en la Tabla 30. Se aprecia en ella que el cargador debe ser de 100 KW y en cada uno de los dos terminales habrá a lo menos tantos cargadores como buses, estando eso reflejado en la demanda de potencia⁴.

Si se toma en cuenta el máximo de cargas diferidas que se pueden hacer secuencialmente durante las horas de suspensión del servicio (en este caso 2), se atienden secuencialmente dos buses con un mismo cargador. El número de cargadores baja a la mitad y en consecuencia también lo hace la demanda del terminal.

En la Tabla 31 se repite el mismo análisis, esta vez considerando un tiempo de carga de 4 horas. Los resultados muestran que la potencia del cargador adaptado es de 75 KW y no existe la posibilidad de compartir un mismo cargador entre dos buses. El número de cargadores es igual al número de buses.

Al comparar los resultados de ambas tablas, se concluye que la mejor opción es la un tiempo de carga máximo de 3 horas admitiendo 2 cargas diferenciadas. Eso permite minimizar el número de cargadores y la demanda máxima de cada terminal.

La potencia demandada para carga de oportunidad es siempre inferior a la de los cargadores.

En la Tabla 32, considerando tiempos máximos de carga de 3 y 4 horas, se muestra el resultado de aplicar el ciclo de carga de las baterías entre 80% y 20%, admitiendo carga de oportunidad. La potencia de los cargadores y las demandas de los terminales, corresponden al 80% de los valores expuestos en la Tabla 30 y la Tabla 31.

Es importante destacar que salvo en el caso de tiempo de carga de 3 horas y 4 paradas por kilómetro, la potencia requerida para la carga de oportunidad supera a la capacidad de los cargadores. Esto implicaría establecer un diseño especial del terminal con un patio de carga de oportunidad.

⁴ La cantidad de cargadores y la demanda de cada terminal es la mitad de los correspondientes al Caso 1

Tabla 30: Potencia del cargador y demanda del terminal. Tiempo de carga de 3 horas.

Tiempo de carga 3 [Horas]

Frecuencia pasada del bus [min]	N° de buses por Terminal				Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]			
2	39	34	29	24	100,00	3.900	3.400	2.900	2.400	2	100,00	1.950	1.700	1.450	1.200
3	26	23	19	16	100,00	2.600	2.300	1.900	1.600	2	100,00	1.300	1.150	950	800
4	19	17	14	12	100,00	1.900	1.700	1.400	1.200	2	100,00	950	850	700	600
5	15	13	11	9	100,00	1.500	1.300	1.100	900	2	100,00	750	650	550	450
6	13	11	9	8	100,00	1.300	1.100	900	800	2	100,00	650	550	450	400
7	11	9	8	7	100,00	1.100	900	800	700	2	100,00	550	450	400	350
8	9	8	7	6	100,00	900	800	700	600	2	100,00	450	400	350	300
9	8	7	6	5	100,00	800	700	600	500	2	100,00	400	350	300	250
10	7	6	5	4	100,00	700	600	500	400	2	100,00	350	300	250	200
11	7	6	5	4	100,00	700	600	500	400	2	100,00	350	300	250	200
12	6	5	4	4	100,00	600	500	400	400	2	100,00	300	250	200	200
13	6	5	4	3	100,00	600	500	400	300	2	100,00	300	250	200	150
14	5	4	4	3	100,00	500	400	400	300	2	100,00	250	200	200	150
15	5	4	3	3	100,00	500	400	300	300	2	100,00	250	200	150	150
Potencia Nominal del Terminal [KW]						0	0	25	53			0	0	25	53
Total Paradas	80	60	40	20		80	60	40	20			80	60	40	20
Paradas / Km	4	3	2	1		4	3	2	1			4	3	2	1

Tabla 31: Potencia del cargador y demanda del terminal. Tiempo de carga de 4 horas.

Tiempo de carga 4 [Horas]

Frecuencia pasada del bus [min]	N° de buses por Terminal				Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]			
2	39	34	29	24	75	2.925	2.925	2.925	2.925	1	75	2.925	2.550	2.175	1.800
3	26	23	19	16	75	1.950	1.950	1.950	1.950	1	75	1.950	1.725	1.425	1.200
4	19	17	14	12	75	1.425	1.425	1.425	1.425	1	75	1.425	1.275	1.050	900
5	15	13	11	9	75	1.125	1.125	1.125	1.125	1	75	1.125	975	825	675
6	13	11	9	8	75	975	975	975	975	1	75	975	825	675	600
7	11	9	8	7	75	825	825	825	825	1	75	825	675	600	525
8	9	8	7	6	75	675	675	675	675	1	75	675	600	525	450
9	8	7	6	5	75	600	600	600	600	1	75	600	525	450	375
10	7	6	5	4	75	525	525	525	525	1	75	525	450	375	300
11	7	6	5	4	75	525	525	525	525	1	75	525	450	375	300
12	6	5	4	4	75	450	450	450	450	1	75	450	375	300	300
13	6	5	4	3	75	450	450	450	450	1	75	450	375	300	225
14	5	4	4	3	75	375	375	375	375	1	75	375	300	300	225
15	5	4	3	3	75	375	375	375	375	1	75	375	300	225	225
Potencia Nominal del Terminal [KW]						0	0	25	53			0	0	25	53
Total Paradas	80	60	40	20		80	60	40	20			80	60	40	20
Paradas / Km	4	3	2	1		4	3	2	1			4	3	2	1

Tabla 32: Ciclo de uso 80%-20% con carga de oportunidad. Tiempos de carga 3 y 4 horas

Frecuencia pasada del bus [min]	Tiempo de carga 3 [Horas]				Tiempo de carga 4 [Horas]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]			
	Nº de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]							
2	39 34 29 24	2	80,00	1.560 1.360 1.160 960	1	60	2.340 2.040 1.740 1.440							
3	26 23 19 16	2	80,00	1.040 920 760 640	1	60	1.560 1.380 1.140 960							
4	19 17 14 12	2	80,00	760 680 560 480	1	60	1.140 1.020 840 720							
5	15 13 11 9	2	80,00	600 520 440 360	1	60	900 780 660 540							
6	13 11 9 8	2	80,00	520 440 360 320	1	60	780 660 540 480							
7	11 9 8 7	2	80,00	440 360 320 280	1	60	660 540 480 420							
8	9 8 7 6	2	80,00	360 320 280 240	1	60	540 480 420 360							
9	8 7 6 5	2	80,00	320 280 240 200	1	60	480 420 360 300							
10	7 6 5 4	2	80,00	280 240 200 160	1	60	420 360 300 240							
11	7 6 5 4	2	80,00	280 240 200 160	1	60	420 360 300 240							
12	6 5 4 4	2	80,00	240 200 160 160	1	60	360 300 240 240							
13	6 5 4 3	2	80,00	240 200 160 120	1	60	360 300 240 180							
14	5 4 4 3	2	80,00	200 160 160 120	1	60	300 240 240 180							
15	5 4 3 3	2	80,00	200 160 120 120	1	60	300 240 180 180							
Potencia Nominal del Terminal [KW]				53 69 95 109			53 69 95 109							
Total Paradas	80 60 40 20			80 60 40 20			80 60 40 20							
Paradas / Km	4 3 2 1			4 3 2 1			4 3 2 1							

11.2 Resultados para recorrido de 20 Km en un sentido

11.2.1 Régimen de uso del 100% de capacidad de la batería

11.2.1.1 Caso 1: un terminal de carga en el recorrido.

Se emplea en este análisis una batería de 450 KWh, que resulta adecuada para el servicio, requiriéndose carga de oportunidad de 34 KW sólo en el caso de 1 parada por kilómetro de recorrido.

El análisis correspondiente a una situación con baterías de 450 KWh y tiempo de carga de 3 horas, inicialmente sin considerar la posibilidad de más de una carga grupal diaria, se muestra en la Tabla 33. Se aprecia en ella que el cargador debe ser de 150 KW y en el terminal habrá a lo menos tantos cargadores como buses, estando eso reflejado en la demanda de potencia.

Si se toma en cuenta el máximo de cargas diferidas que se pueden hacer secuencialmente durante las horas de suspensión del servicio (en este caso 2), se atienden secuencialmente dos buses con un mismo cargador. El número de cargadores baja a la mitad y en consecuencia también lo hace la demanda del terminal.

En la Tabla 34 se repite el mismo análisis, esta vez considerando un tiempo de carga de 4 horas. Los resultados muestran que la potencia del cargador adaptado es de 112,5 KW y no existe la posibilidad de compartir un mismo cargador entre dos buses. El número de cargadores es igual al número de buses.

Al comparar los resultados de ambas tablas, se concluye que la mejor opción es la un tiempo de carga máximo de 3 horas admitiendo 2 cargas diferenciadas. Eso permite minimizar el número de cargadores y la demanda máxima del terminal.

La potencia demandada para carga de oportunidad es 34 KW sólo para el caso de 1 parada por kilómetro.

En la Tabla 35, considerando tiempos máximos de carga de 3 y 4 horas, se muestra el resultado de aplicar el ciclo de carga de las baterías entre 80% y 20%, admitiendo carga de oportunidad. La potencia de los cargadores y las demandas de los terminales, corresponden al 80% de los valores expuestos en la Tabla 33 y la Tabla 34. Es importante destacar que en el caso de tiempo de carga de 3 horas y una parada por kilómetro, la potencia nominal del cargador de oportunidad (189 KW) excede la capacidad de los cargadores instalados (150 KW). Cuando el tiempo de carga es 4 horas, la potencia requerida para la carga de oportunidad supera a la capacidad de los cargadores para 3, 2 y 1 paradas por kilómetro. Esto implicaría establecer un diseño especial del terminal con un patio de carga de oportunidad.

Tabla 33: Potencia del cargador y demanda del terminal. Tiempo de carga de 3 horas.

Tiempo de carga 3 [Horas]

Frecuencia pasada del bus [min]	N° de buses por Terminal				Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]			
2	148	128	108	88	150,00	22.200	19.200	16.200	13.200	2	150,00	11.100	9.600	8.100	6.600
3	98	86	72	58	150,00	14.700	12.900	10.800	8.700	2	150,00	7.350	6.450	5.400	4.350
4	74	64	54	44	150,00	11.100	9.600	8.100	6.600	2	150,00	5.550	4.800	4.050	3.300
5	58	50	42	34	150,00	8.700	7.500	6.300	5.100	2	150,00	4.350	3.750	3.150	2.550
6	48	42	36	28	150,00	7.200	6.300	5.400	4.200	2	150,00	3.600	3.150	2.700	2.100
7	42	36	30	24	150,00	6.300	5.400	4.500	3.600	2	150,00	3.150	2.700	2.250	1.800
8	36	32	26	22	150,00	5.400	4.800	3.900	3.300	2	150,00	2.700	2.400	1.950	1.650
9	32	28	24	18	150,00	4.800	4.200	3.600	2.700	2	150,00	2.400	2.100	1.800	1.350
10	28	24	20	16	150,00	4.200	3.600	3.000	2.400	2	150,00	2.100	1.800	1.500	1.200
11	26	22	18	16	150,00	3.900	3.300	2.700	2.400	2	150,00	1.950	1.650	1.350	1.200
12	24	20	18	14	150,00	3.600	3.000	2.700	2.100	2	150,00	1.800	1.500	1.350	1.050
13	22	18	16	12	150,00	3.300	2.700	2.400	1.800	2	150,00	1.650	1.350	1.200	900
14	20	18	14	12	150,00	3.000	2.700	2.100	1.800	2	150,00	1.500	1.350	1.050	900
15	18	16	14	10	150,00	2.700	2.400	2.100	1.500	2	150,00	1.350	1.200	1.050	750
Potencia Nominal del Terminal [KW]						0	0	0	34			0	0	0	34
Total Paradas	160	120	80	40		160	120	80	40			160	120	80	40
Paradas / Km	4	3	2	1		4	3	2	1			4	3	2	1

Tabla 34: Potencia del cargador y demanda del terminal. Tiempo de carga de 4 horas.

Tiempo de carga 4 [Horas]

Frecuencia pasada del bus [min]	N° de buses por Terminal				Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]			
2	148	128	108	88	112,5	16.650	14.400	12.150	9.900	1	112,5	16.650	14.400	12.150	9.900
3	98	86	72	58	112,5	11.025	9.675	8.100	6.525	1	112,5	11.025	9.675	8.100	6.525
4	74	64	54	44	112,5	8.325	7.200	6.075	4.950	1	112,5	8.325	7.200	6.075	4.950
5	58	50	42	34	112,5	6.525	5.625	4.725	3.825	1	112,5	6.525	5.625	4.725	3.825
6	48	42	36	28	112,5	5.400	4.725	4.050	3.150	1	112,5	5.400	4.725	4.050	3.150
7	42	36	30	24	112,5	4.725	4.050	3.375	2.700	1	112,5	4.725	4.050	3.375	2.700
8	36	32	26	22	112,5	4.050	3.600	2.925	2.475	1	112,5	4.050	3.600	2.925	2.475
9	32	28	24	18	112,5	3.600	3.150	2.700	2.025	1	112,5	3.600	3.150	2.700	2.025
10	28	24	20	16	112,5	3.150	2.700	2.250	1.800	1	112,5	3.150	2.700	2.250	1.800
11	26	22	18	16	112,5	2.925	2.475	2.025	1.800	1	112,5	2.925	2.475	2.025	1.800
12	24	20	18	14	112,5	2.700	2.250	2.025	1.575	1	112,5	2.700	2.250	2.025	1.575
13	22	18	16	12	112,5	2.475	2.025	1.800	1.350	1	112,5	2.475	2.025	1.800	1.350
14	20	18	14	12	112,5	2.250	2.025	1.575	1.350	1	112,5	2.250	2.025	1.575	1.350
15	18	16	14	10	112,5	2.025	1.800	1.575	1.125	1	112,5	2.025	1.800	1.575	1.125
Potencia Nominal del Terminal [KW]						0	0	0	34			0	0	0	34
Total Paradas	160	120	80	40		160	120	80	40			160	120	80	
Paradas / Km	4	3	2	1		4	3	2	1			4	3	2	1

Tabla 35: Ciclo de uso 80%-20% con carga de oportunidad. Tiempos de carga 3 y 4 horas

Frecuencia pasada del bus [min]	Tiempo de carga 3 [Horas]				Tiempo de carga 4 [Horas]												
	N° de buses por Terminal				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]				
2	148	128	108	88	2	120,00	8.880	7.680	6.480	5.280	1	90	13.320	11.520	9.720	7.920	
3	98	86	72	58	2	120,00	5.880	5.160	4.320	3.480	1	90	8.820	7.740	6.480	5.220	
4	74	64	54	44	2	120,00	4.440	3.840	3.240	2.640	1	90	6.660	5.760	4.860	3.960	
5	58	50	42	34	2	120,00	3.480	3.000	2.520	2.040	1	90	5.220	4.500	3.780	3.060	
6	48	42	36	28	2	120,00	2.880	2.520	2.160	1.680	1	90	4.320	3.780	3.240	2.520	
7	42	36	30	24	2	120,00	2.520	2.160	1.800	1.440	1	90	3.780	3.240	2.700	2.160	
8	36	32	26	22	2	120,00	2.160	1.920	1.560	1.320	1	90	3.240	2.880	2.340	1.980	
9	32	28	24	18	2	120,00	1.920	1.680	1.440	1.080	1	90	2.880	2.520	2.160	1.620	
10	28	24	20	16	2	120,00	1.680	1.440	1.200	960	1	90	2.520	2.160	1.800	1.440	
11	26	22	18	16	2	120,00	1.560	1.320	1.080	960	1	90	2.340	1.980	1.620	1.440	
12	24	20	18	14	2	120,00	1.440	1.200	1.080	840	1	90	2.160	1.800	1.620	1.260	
13	22	18	16	12	2	120,00	1.320	1.080	960	720	1	90	1.980	1.620	1.440	1.080	
14	20	18	14	12	2	120,00	1.200	1.080	840	720	1	90	1.800	1.620	1.260	1.080	
15	18	16	14	10	2	120,00	1.080	960	840	600	1	90	1.620	1.440	1.260	900	
Potencia Nominal del Terminal [KW]							45	118	105	189				45	118	105	189
Total Paradas	160	120	80	40			160	120	80	40			160	120	80	40	
Paradas / Km	4	3	2	1			4	3	2	1			4	3	2	1	

11.2.1.2 Caso 2: un terminal de carga en cada extremo del recorrido.

Se emplea en este análisis una batería de 450 KWh, que resulta adecuada para el servicio, no se requiere carga de oportunidad en todo el rango de paradas por kilómetro de recorrido.

El análisis correspondiente a una situación con baterías de 450 KWh y tiempo de carga de 3 horas, inicialmente sin considerar la posibilidad de más de una carga grupal diaria, se muestra en la Tabla 36. Se aprecia en ella que el cargador debe ser de 150 KW y en cada uno de los dos terminales habrá a lo menos tantos cargadores como buses, estando eso reflejado en la demanda de potencia⁵.

Si se toma en cuenta el máximo de cargas diferidas que se pueden hacer secuencialmente durante las horas de suspensión del servicio (en este caso 2), se atienden secuencialmente dos buses con un mismo cargador. El número de cargadores baja a la mitad y en consecuencia también lo hace la demanda del terminal.

En la Tabla 37 se repite el mismo análisis, esta vez considerando un tiempo de carga de 4 horas. Los resultados muestran que la potencia del cargador adaptado es de 112,5 KW y no existe la posibilidad de compartir un mismo cargador entre dos buses. El número de cargadores es igual al número de buses.

Al comparar los resultados de ambas tablas, se concluye que la mejor opción es la un tiempo de carga máximo de 3 horas admitiendo 2 cargas diferenciadas. Eso permite minimizar el número de cargadores y la demanda máxima de cada terminal.

La potencia demandada para carga de oportunidad es cero.

En la Tabla 38, considerando tiempos máximos de carga de 3 y 4 horas, se muestra el resultado de aplicar el ciclo de carga de las baterías entre 80% y 20%, admitiendo carga de oportunidad. La potencia de los cargadores y las demandas de los terminales, corresponden al 80% de los valores expuestos en la Tabla 36 y la Tabla 37.

Es importante destacar que la potencia requerida para la carga de oportunidad supera a la capacidad de los cargadores sólo para una parada por kilómetro. En esa situación, el diseño de los terminales debería incorporar un conjunto especial de cargadores de oportunidad.

⁵ La cantidad de cargadores y la demanda de cada terminal es la mitad de los correspondientes al Caso 1

Tabla 36: Potencia del cargador y demanda del terminal. Tiempo de carga de 3 horas.

Tiempo de carga 3 [Horas]

Frecuencia pasada del bus [min]	N° de buses por Terminal				Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]			
2	74	64	54	44	150,00	11.100	9.600	8.100	6.600	2	150,00	5.550	4.800	4.050	3.300
3	49	43	36	29	150,00	7.350	6.450	5.400	4.350	2	150,00	3.675	3.225	2.700	2.175
4	37	32	27	22	150,00	5.550	4.800	4.050	3.300	2	150,00	2.775	2.400	2.025	1.650
5	29	25	21	17	150,00	4.350	3.750	3.150	2.550	2	150,00	2.175	1.875	1.575	1.275
6	24	21	18	14	150,00	3.600	3.150	2.700	2.100	2	150,00	1.800	1.575	1.350	1.050
7	21	18	15	12	150,00	3.150	2.700	2.250	1.800	2	150,00	1.575	1.350	1.125	900
8	18	16	13	11	150,00	2.700	2.400	1.950	1.650	2	150,00	1.350	1.200	975	825
9	16	14	12	9	150,00	2.400	2.100	1.800	1.350	2	150,00	1.200	1.050	900	675
10	14	12	10	8	150,00	2.100	1.800	1.500	1.200	2	150,00	1.050	900	750	600
11	13	11	9	8	150,00	1.950	1.650	1.350	1.200	2	150,00	975	825	675	600
12	12	10	9	7	150,00	1.800	1.500	1.350	1.050	2	150,00	900	750	675	525
13	11	9	8	6	150,00	1.650	1.350	1.200	900	2	150,00	825	675	600	450
14	10	9	7	6	150,00	1.500	1.350	1.050	900	2	150,00	750	675	525	450
15	9	8	7	5	150,00	1.350	1.200	1.050	750	2	150,00	675	600	525	375
Potencia Nominal del Terminal [KW]						0	0	0	0			0	0	0	0
Total Paradas	160	120	80	40		160	120	80	40			160	120	80	40
Paradas / Km	4	3	2	1		4	3	2	1			4	3	2	1

Tabla 37: Potencia del cargador y demanda del terminal. Tiempo de carga de 4 horas.

Tiempo de carga 4 [Horas]

Frecuencia pasada del bus [min]	N° de buses por Terminal				Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]			
2	74	64	54	44	112,5	8.325	8.325	8.325	8.325	1	112,5	8.325	7.200	6.075	4.950
3	49	43	36	29	112,5	5.513	5.513	5.513	5.513	1	112,5	5.513	4.838	4.050	3.263
4	37	32	27	22	112,5	4.163	4.163	4.163	4.163	1	112,5	4.163	3.600	3.038	2.475
5	29	25	21	17	112,5	3.263	3.263	3.263	3.263	1	112,5	3.263	2.813	2.363	1.913
6	24	21	18	14	112,5	2.700	2.700	2.700	2.700	1	112,5	2.700	2.363	2.025	1.575
7	21	18	15	12	112,5	2.363	2.363	2.363	2.363	1	112,5	2.363	2.025	1.688	1.350
8	18	16	13	11	112,5	2.025	2.025	2.025	2.025	1	112,5	2.025	1.800	1.463	1.238
9	16	14	12	9	112,5	1.800	1.800	1.800	1.800	1	112,5	1.800	1.575	1.350	1.013
10	14	12	10	8	112,5	1.575	1.575	1.575	1.575	1	112,5	1.575	1.350	1.125	900
11	13	11	9	8	112,5	1.463	1.463	1.463	1.463	1	112,5	1.463	1.238	1.013	900
12	12	10	9	7	112,5	1.350	1.350	1.350	1.350	1	112,5	1.350	1.125	1.013	788
13	11	9	8	6	112,5	1.238	1.238	1.238	1.238	1	112,5	1.238	1.013	900	675
14	10	9	7	6	112,5	1.125	1.125	1.125	1.125	1	112,5	1.125	1.013	788	675
15	9	8	7	5	112,5	1.013	1.013	1.013	1.013	1	112,5	1.013	900	788	563
Potencia Nominal del Terminal [KW]						0	0	0	0			0	0	0	0
Total Paradas	160	120	80	40		160	120	80	40			160	120	80	40
Paradas / Km	4	3	2	1		4	3	2	1			4	3	2	1

Tabla 38: Ciclo de uso 80%-20% con carga de oportunidad. Tiempos de carga 3 y 4 horas

Frecuencia pasada del bus [min]	N° de buses por Terminal				Tiempo de carga 3 [Horas]				Tiempo de carga 4 [Horas]							
					Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]			
2	74	64	54	44	2	120,00	4.440	3.840	3.240	2.640	1	90	6.660	5.760	4.860	3.960
3	49	43	36	29	2	120,00	2.940	2.580	2.160	1.740	1	90	4.410	3.870	3.240	2.610
4	37	32	27	22	2	120,00	2.220	1.920	1.620	1.320	1	90	3.330	2.880	2.430	1.980
5	29	25	21	17	2	120,00	1.740	1.500	1.260	1.020	1	90	2.610	2.250	1.890	1.530
6	24	21	18	14	2	120,00	1.440	1.260	1.080	840	1	90	2.160	1.890	1.620	1.260
7	21	18	15	12	2	120,00	1.260	1.080	900	720	1	90	1.890	1.620	1.350	1.080
8	18	16	13	11	2	120,00	1.080	960	780	660	1	90	1.620	1.440	1.170	990
9	16	14	12	9	2	120,00	960	840	720	540	1	90	1.440	1.260	1.080	810
10	14	12	10	8	2	120,00	840	720	600	480	1	90	1.260	1.080	900	720
11	13	11	9	8	2	120,00	780	660	540	480	1	90	1.170	990	810	720
12	12	10	9	7	2	120,00	720	600	540	420	1	90	1.080	900	810	630
13	11	9	8	6	2	120,00	660	540	480	360	1	90	990	810	720	540
14	10	9	7	6	2	120,00	600	540	420	360	1	90	900	810	630	540
15	9	8	7	5	2	120,00	540	480	420	300	1	90	810	720	630	450
Potencia Nominal del Terminal [KW]							0	46	33	137			0	46	33	137
Total Paradas	160	120	80	40			160	120	80	40			160	120	80	40
Paradas / Km	4	3	2	1			4	3	2	1			4	3	2	1

11.3 Resultados para recorrido de 30 Km en un sentido

11.3.1 Régimen de uso del 100% de capacidad de la batería

11.3.1.1 Caso 1: un terminal de carga en el recorrido.

Se emplea en este análisis una batería de 450 KWh, que resulta adecuada para el servicio, requiriéndose carga de oportunidad sólo en el caso de una parada por kilómetro de recorrido.

El análisis correspondiente a una situación con baterías de 450 KWh y tiempo de carga de 3 horas, inicialmente sin considerar la posibilidad de más de una carga grupal diaria, se muestra en la Tabla 39. Se aprecia en ella que el cargador debe ser de 150 KW y en el terminal habrá a lo menos tantos cargadores como buses, estando eso reflejado en la demanda de potencia.

Si se toma en cuenta el máximo de cargas diferidas que se pueden hacer secuencialmente durante las horas de suspensión del servicio (en este caso 2), se atienden secuencialmente dos buses con un mismo cargador. El número de cargadores baja a la mitad y en consecuencia también lo hace la demanda del terminal.

En la Tabla 40 se repite el mismo análisis, esta vez considerando un tiempo de carga de 4 horas. Los resultados muestran que la potencia del cargador adaptado es de 112,5 KW y no existe la posibilidad de compartir un mismo cargador entre dos buses. El número de cargadores es igual al número de buses.

Al comparar los resultados de ambas tablas, se concluye que la mejor opción es la un tiempo de carga máximo de 3 horas admitiendo 2 cargas diferenciadas. Eso permite minimizar el número de cargadores y la demanda máxima del terminal.

La potencia demandada para carga de oportunidad es de 82 KKW, sólo en el caso de una parada por kilómetro. En la Tabla 41, considerando tiempos máximos de carga de 3 y 4 horas, se muestra el resultado de aplicar el ciclo de carga de las baterías entre 80% y 20%, admitiendo carga de oportunidad. La potencia de los cargadores y las demandas de los terminales, corresponden al 80% de los valores expuestos en la Tabla 39 y la Tabla 40. Es importante destacar que salvo en el caso de tiempo de carga de 3 horas y 4 paradas por kilómetro, la potencia requerida para la carga de oportunidad supera a la capacidad de los cargadores. Esto implicaría establecer un diseño especial del terminal con un patio de carga de oportunidad.

Tabla 39: Potencia del cargador y demanda del terminal. Tiempo de carga de 3 horas

Tiempo de carga 3 [Horas]

Frecuencia pasada del bus [min]	N° de buses por Terminal				Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]			
2	218	188	158	128	150,00	32.700	28.200	23.700	19.200	2	150,00	16.350	14.100	11.850	9.600
3	146	126	106	86	150,00	21.900	18.900	15.900	12.900	2	150,00	10.950	9.450	7.950	6.450
4	108	94	78	64	150,00	16.200	14.100	11.700	9.600	2	150,00	8.100	7.050	5.850	4.800
5	86	74	62	50	150,00	12.900	11.100	9.300	7.500	2	150,00	6.450	5.550	4.650	3.750
6	72	62	52	42	150,00	10.800	9.300	7.800	6.300	2	150,00	5.400	4.650	3.900	3.150
7	62	54	44	36	150,00	9.300	8.100	6.600	5.400	2	150,00	4.650	4.050	3.300	2.700
8	54	46	38	32	150,00	8.100	6.900	5.700	4.800	2	150,00	4.050	3.450	2.850	2.400
9	48	42	34	28	150,00	7.200	6.300	5.100	4.200	2	150,00	3.600	3.150	2.550	2.100
10	42	36	30	24	150,00	6.300	5.400	4.500	3.600	2	150,00	3.150	2.700	2.250	1.800
11	38	34	28	22	150,00	5.700	5.100	4.200	3.300	2	150,00	2.850	2.550	2.100	1.650
12	36	30	26	20	150,00	5.400	4.500	3.900	3.000	2	150,00	2.700	2.250	1.950	1.500
13	32	28	24	18	150,00	4.800	4.200	3.600	2.700	2	150,00	2.400	2.100	1.800	1.350
14	30	26	22	18	150,00	4.500	3.900	3.300	2.700	2	150,00	2.250	1.950	1.650	1.350
15	28	24	20	16	150,00	4.200	3.600	3.000	2.400	2	150,00	2.100	1.800	1.500	1.200
Potencia Nominal del Terminal [KW]						0	0	0	82			0	0	0	82
Total Paradas	240	180	120	60		240	180	120	60			240	180	120	60
Paradas / Km	4	3	2	1		4	3	2	1			4	3	2	1

Tabla 40: Potencia del cargador y demanda del terminal. Tiempo de carga de 4 horas.

Tiempo de carga 4 [Horas]

Frecuencia pasada del bus [min]	N° de buses por Terminal				Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]			
2	218	188	158	128	112,5	24.525	21.150	17.775	14.400	1	112,5	24.525	21.150	17.775	14.400
3	146	126	106	86	112,5	16.425	14.175	11.925	9.675	1	112,5	16.425	14.175	11.925	9.675
4	108	94	78	64	112,5	12.150	10.575	8.775	7.200	1	112,5	12.150	10.575	8.775	7.200
5	86	74	62	50	112,5	9.675	8.325	6.975	5.625	1	112,5	9.675	8.325	6.975	5.625
6	72	62	52	42	112,5	8.100	6.975	5.850	4.725	1	112,5	8.100	6.975	5.850	4.725
7	62	54	44	36	112,5	6.975	6.075	4.950	4.050	1	112,5	6.975	6.075	4.950	4.050
8	54	46	38	32	112,5	6.075	5.175	4.275	3.600	1	112,5	6.075	5.175	4.275	3.600
9	48	42	34	28	112,5	5.400	4.725	3.825	3.150	1	112,5	5.400	4.725	3.825	3.150
10	42	36	30	24	112,5	4.725	4.050	3.375	2.700	1	112,5	4.725	4.050	3.375	2.700
11	38	34	28	22	112,5	4.275	3.825	3.150	2.475	1	112,5	4.275	3.825	3.150	2.475
12	36	30	26	20	112,5	4.050	3.375	2.925	2.250	1	112,5	4.050	3.375	2.925	2.250
13	32	28	24	18	112,5	3.600	3.150	2.700	2.025	1	112,5	3.600	3.150	2.700	2.025
14	30	26	22	18	112,5	3.375	2.925	2.475	2.025	1	112,5	3.375	2.925	2.475	2.025
15	28	24	20	16	112,5	3.150	2.700	2.250	1.800	1	112,5	3.150	2.700	2.250	1.800
Potencia Nominal del Terminal [KW]						0	0	0	82			0	0	0	82
Total Paradas	240	180	120	60		240	180	120	60			240	180	120	60
Paradas / Km	4	3	2	1		4	3	2	1			4	3	2	1

Tabla 41: Ciclo de uso 80%-20% con carga de oportunidad. Tiempos de carga 3 y 4 horas

Frecuencia pasada del bus [min]	N° de buses por Terminal				Tiempo de carga 3 [Horas]				Tiempo de carga 4 [Horas]							
	218	188	158	128	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]			
2	218	188	158	128	2	120,00	13.080	11.280	9.480	7.680	1	90	19.620	16.920	14.220	11.520
3	146	126	106	86	2	120,00	8.760	7.560	6.360	5.160	1	90	13.140	11.340	9.540	7.740
4	108	94	78	64	2	120,00	6.480	5.640	4.680	3.840	1	90	9.720	8.460	7.020	5.760
5	86	74	62	50	2	120,00	5.160	4.440	3.720	3.000	1	90	7.740	6.660	5.580	4.500
6	72	62	52	42	2	120,00	4.320	3.720	3.120	2.520	1	90	6.480	5.580	4.680	3.780
7	62	54	44	36	2	120,00	3.720	3.240	2.640	2.160	1	90	5.580	4.860	3.960	3.240
8	54	46	38	32	2	120,00	3.240	2.760	2.280	1.920	1	90	4.860	4.140	3.420	2.880
9	48	42	34	28	2	120,00	2.880	2.520	2.040	1.680	1	90	4.320	3.780	3.060	2.520
10	42	36	30	24	2	120,00	2.520	2.160	1.800	1.440	1	90	3.780	3.240	2.700	2.160
11	38	34	28	22	2	120,00	2.280	2.040	1.680	1.320	1	90	3.420	3.060	2.520	1.980
12	36	30	26	20	2	120,00	2.160	1.800	1.560	1.200	1	90	3.240	2.700	2.340	1.800
13	32	28	24	18	2	120,00	1.920	1.680	1.440	1.080	1	90	2.880	2.520	2.160	1.620
14	30	26	22	18	2	120,00	1.800	1.560	1.320	1.080	1	90	2.700	2.340	1.980	1.620
15	28	24	20	16	2	120,00	1.680	1.440	1.200	960	1	90	2.520	2.160	1.800	1.440
Potencia Nominal del Terminal [KW]							118	102	231	298			118	102	231	298
Total Paradas	240	180	120	60			240	180	120	60			240	180	120	60
Paradas / Km	4	3	2	1			4	3	2	1			4	3	2	1

11.3.1.2 Caso 2: un terminal de carga en cada extremo del recorrido.

Se emplea en este análisis una batería de 450 KWh, que resulta adecuada para el servicio, sólo se requiere carga de oportunidad para el caso de una parada por kilómetro de recorrido. El análisis correspondiente a una situación con baterías de 450 KWh y tiempo de carga de 3 horas, inicialmente sin considerar la posibilidad de más de una carga grupal diaria, se muestra en la Tabla 42. Se aprecia en ella que el cargador debe ser de 150 KW y en cada uno de los dos terminales habrá a lo menos tantos cargadores como buses, estando eso reflejado en la demanda de potencia⁶.

Si se toma en cuenta el máximo de cargas diferidas que se pueden hacer secuencialmente durante las horas de suspensión del servicio (en este caso 2), se atienden secuencialmente dos buses con un mismo cargador. El número de cargadores baja a la mitad y en consecuencia también lo hace la demanda del terminal.

En la Tabla 43 se repite el mismo análisis, esta vez considerando un tiempo de carga de 4 horas. Los resultados muestran que la potencia del cargador adaptado es de 112,5 KW y no existe la posibilidad de compartir un mismo cargador entre dos buses. El número de cargadores es igual al número de buses.

Al comparar los resultados de ambas tablas, se concluye que la mejor opción es la un tiempo de carga máximo de 3 horas admitiendo 2 cargas diferenciadas. Eso permite minimizar el número de cargadores y la demanda máxima de cada terminal.

La potencia demandada para carga de oportunidad es cero.

En la Tabla 44, considerando tiempos máximos de carga de 3 y 4 horas, se muestra el resultado de aplicar el ciclo de carga de las baterías entre 80% y 20%, admitiendo carga de oportunidad. La potencia de los cargadores y las demandas de los terminales, corresponden al 80% de los valores expuestos en la Tabla 42 y la Tabla 43. Es importante destacar que la potencia requerida para la carga de oportunidad supera a la capacidad de los cargadores. Esto implicaría establecer un diseño especial del terminal con un patio de carga de oportunidad.

⁶ La cantidad de cargadores y la demanda de cada terminal es la mitad de los correspondientes al Caso 1

Tabla 42: Potencia del cargador y demanda del terminal. Tiempo de carga de 3 horas.

Tiempo de carga 3 [Horas]

Frecuencia pasada del bus [min]	Nº de buses por Terminal				Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]			
2	218	188	158	128	150,00	32.700	28.200	23.700	19.200	2	150,00	16.350	14.100	11.850	9.600
3	146	126	106	86	150,00	21.900	18.900	15.900	12.900	2	150,00	10.950	9.450	7.950	6.450
4	108	94	78	64	150,00	16.200	14.100	11.700	9.600	2	150,00	8.100	7.050	5.850	4.800
5	86	74	62	50	150,00	12.900	11.100	9.300	7.500	2	150,00	6.450	5.550	4.650	3.750
6	72	62	52	42	150,00	10.800	9.300	7.800	6.300	2	150,00	5.400	4.650	3.900	3.150
7	62	54	44	36	150,00	9.300	8.100	6.600	5.400	2	150,00	4.650	4.050	3.300	2.700
8	54	46	38	32	150,00	8.100	6.900	5.700	4.800	2	150,00	4.050	3.450	2.850	2.400
9	48	42	34	28	150,00	7.200	6.300	5.100	4.200	2	150,00	3.600	3.150	2.550	2.100
10	42	36	30	24	150,00	6.300	5.400	4.500	3.600	2	150,00	3.150	2.700	2.250	1.800
11	38	34	28	22	150,00	5.700	5.100	4.200	3.300	2	150,00	2.850	2.550	2.100	1.650
12	36	30	26	20	150,00	5.400	4.500	3.900	3.000	2	150,00	2.700	2.250	1.950	1.500
13	32	28	24	18	150,00	4.800	4.200	3.600	2.700	2	150,00	2.400	2.100	1.800	1.350
14	30	26	22	18	150,00	4.500	3.900	3.300	2.700	2	150,00	2.250	1.950	1.650	1.350
15	28	24	20	16	150,00	4.200	3.600	3.000	2.400	2	150,00	2.100	1.800	1.500	1.200
Potencia Nominal del Terminal [KW]						0	0	0	82			0	0	0	82
Total Paradas	180	120	60			240	180	120	60			240	180	120	60
Paradas / Km	3	2	1			4	3	2	1			4	3	2	1

Tabla 43: Potencia del cargador y demanda del terminal. Tiempo de carga de 4 horas.

Tiempo de carga 4 [Horas]

Frecuencia pasada del bus [min]	Nº de buses por Terminal				Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del Terminal [KW]			
2	218	188	158	128	112,5	24.525	21.150	17.775	14.400	1	112,5	24.525	21.150	17.775	14.400
3	146	126	106	86	112,5	16.425	14.175	11.925	9.675	1	112,5	16.425	14.175	11.925	9.675
4	108	94	78	64	112,5	12.150	10.575	8.775	7.200	1	112,5	12.150	10.575	8.775	7.200
5	86	74	62	50	112,5	9.675	8.325	6.975	5.625	1	112,5	9.675	8.325	6.975	5.625
6	72	62	52	42	112,5	8.100	6.975	5.850	4.725	1	112,5	8.100	6.975	5.850	4.725
7	62	54	44	36	112,5	6.975	6.075	4.950	4.050	1	112,5	6.975	6.075	4.950	4.050
8	54	46	38	32	112,5	6.075	5.175	4.275	3.600	1	112,5	6.075	5.175	4.275	3.600
9	48	42	34	28	112,5	5.400	4.725	3.825	3.150	1	112,5	5.400	4.725	3.825	3.150
10	42	36	30	24	112,5	4.725	4.050	3.375	2.700	1	112,5	4.725	4.050	3.375	2.700
11	38	34	28	22	112,5	4.275	3.825	3.150	2.475	1	112,5	4.275	3.825	3.150	2.475
12	36	30	26	20	112,5	4.050	3.375	2.925	2.250	1	112,5	4.050	3.375	2.925	2.250
13	32	28	24	18	112,5	3.600	3.150	2.700	2.025	1	112,5	3.600	3.150	2.700	2.025
14	30	26	22	18	112,5	3.375	2.925	2.475	2.025	1	112,5	3.375	2.925	2.475	2.025
15	28	24	20	16	112,5	3.150	2.700	2.250	1.800	1	112,5	3.150	2.700	2.250	1.800
Potencia Nominal del Terminal [KW]						0	0	0	82			0	0	0	82
Total Paradas	180	120	60			240	180	120	60			240	180	120	60
Paradas / Km	3	2	1			4	3	2	1			4	3	2	1

Tabla 44: Ciclo de uso 80%-20% con carga de oportunidad. Tiempos de carga 3 y 4 horas

Frecuencia pasada del bus [min]	Tiempo de carga 3 [Horas]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Tiempo de carga 4 [Horas]				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Tiempo de carga 3 y 4 [Horas]			
	218	188	158	128			13.080	11.280	9.480	7.680			19.620	16.920	14.220	11.520
2	218	188	158	128	2	120,00	13.080	11.280	9.480	7.680	1	90	19.620	16.920	14.220	11.520
3	146	126	106	86	2	120,00	8.760	7.560	6.360	5.160	1	90	13.140	11.340	9.540	7.740
4	108	94	78	64	2	120,00	6.480	5.640	4.680	3.840	1	90	9.720	8.460	7.020	5.760
5	86	74	62	50	2	120,00	5.160	4.440	3.720	3.000	1	90	7.740	6.660	5.580	4.500
6	72	62	52	42	2	120,00	4.320	3.720	3.120	2.520	1	90	6.480	5.580	4.680	3.780
7	62	54	44	36	2	120,00	3.720	3.240	2.640	2.160	1	90	5.580	4.860	3.960	3.240
8	54	46	38	32	2	120,00	3.240	2.760	2.280	1.920	1	90	4.860	4.140	3.420	2.880
9	48	42	34	28	2	120,00	2.880	2.520	2.040	1.680	1	90	4.320	3.780	3.060	2.520
10	42	36	30	24	2	120,00	2.520	2.160	1.800	1.440	1	90	3.780	3.240	2.700	2.160
11	38	34	28	22	2	120,00	2.280	2.040	1.680	1.320	1	90	3.420	3.060	2.520	1.980
12	36	30	26	20	2	120,00	2.160	1.800	1.560	1.200	1	90	3.240	2.700	2.340	1.800
13	32	28	24	18	2	120,00	1.920	1.680	1.440	1.080	1	90	2.880	2.520	2.160	1.620
14	30	26	22	18	2	120,00	1.800	1.560	1.320	1.080	1	90	2.700	2.340	1.980	1.620
15	28	24	20	16	2	120,00	1.680	1.440	1.200	960	1	90	2.520	2.160	1.800	1.440
Potencia Nominal del Terminal [KW]							118	102	231	298			118	102	231	298
Total Paradas	240	180	120	60			240	180	120	60			240	180	120	60
Paradas / Km	4	3	2	1			4	3	2	1			4	3	2	1

IMPACTO SOBRE LA RED ELÉCTRICA



12

12. IMPACTO SOBRE LA RED ELÉCTRICA

En este capítulo se analiza el impacto de la electrificación del transporte público sobre la red eléctrica de distribución y de alta tensión. Se estudia el impacto sobre la red en las siguientes situaciones:

- Demanda por recorrido autónomo
- Demanda de la Región Metropolitana
- Demanda de principales ciudades en Regiones

12.1 Impacto de recorridos autónomos

El supuesto basal de este análisis es que sólo se conecta a la red una línea de buses para abordar el servicio de transporte público de una ciudad y lo que se comenta es la magnitud de la demanda eléctrica que eso le suma. Se reconoce que esto es un análisis más bien teórico porque la situación antes descrita es poco frecuente, pero aun así es importante porque permite visualizar el impacto en demanda que eso conlleva.

En las 3 tablas siguientes se resumen los resultados obtenidos para los recorridos de 10, 20 y 30 Km en un sentido, explicitándose la batería del bus seleccionada. Para los casos de 4 y 3 paradas por kilómetro y tiempos de carga de 3 y 4 horas en el terminal, se muestra la condición de carga plena 100% y carga 80%-20% + carga de oportunidad. Se incluyen tiempos de carga de 3 y 4 horas en todos los casos.

Para la línea con un recorrido de 10 Km en un sentido, en la Tabla 45 se presenta un resumen que muestra la potencia demandada por el terminal. Las magnitudes de demanda fluctúan entre 5.850 KW como máximo y 320 KW como mínimo, en función del número de buses del recorrido y del régimen de carga de las baterías. La magnitud máxima está asociada a un recorrido en que pasara un bus cada 2 minutos por un punto de detención.

Para la línea con un recorrido de 20 Km en un sentido, en la Tabla 45 se presenta un resumen que muestra las magnitudes de potencia demandada por el terminal. Las magnitudes de demanda fluctúan entre 16.650 KW como máximo y 1.080 KW como mínimo, en función del número de buses del recorrido y del régimen de carga de las baterías. La magnitud máxima está asociada a un recorrido en que pasara un bus cada 2 minutos por un punto de detención.

Para la línea con un recorrido de 30 Km en un sentido, en la Tabla 45 se presenta un resumen que muestra las magnitudes de potencia demandada por el terminal. Las magnitudes de demanda fluctúan entre 24.525 KW como máximo y 1.440 KW como mínimo, en función del número de buses del recorrido y del régimen de carga de las baterías. La magnitud máxima está asociada a un recorrido en que pasara un bus cada 2 minutos por un punto de detención.

En todas las tablas, con color celeste se destacan los recorridos con frecuencias de pasada en un punto de detención de 6, 10 y 12 minutos, que equivale 10, 6 y 5 buses por hora. Las magnitudes de potencia demandada, permiten aseverar que tales exigencias pueden ser abordadas por un alimentador de media tensión en el caso de un recorrido de 10 Km. Para un recorrido de 20 Km y con mayor razón en el de 30 Km, la demanda podría ser suplida del mismo modo, siempre y cuando no se presenten problemas de regulación de tensión, situación que en la práctica debe evaluarse caso a caso.

Finalmente hacer notar que la demanda a servicio constante se minimiza adoptando un diseño tal de la flota que permita cargas secuenciales de buses compartiendo los cargadores.

Tabla 45: Potencia demandada por el terminal. Recorrido de 10 Km en un sentido

Capacidad de las baterías 450 KWh															
Recorrido 10 Km		Carga Plena 100%						Carga 80%-20% + Carga de oportunidad							
Tiempo de carga [Horas]			3			4			3			4			
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Nº de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Potencia Nominal del por cada Terminal [kW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Potencia Nominal del por cada Terminal [kW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Potencia Nominal del por cada Terminal [kW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Potencia Nominal del por cada Terminal [kW]		
2	78 68	2	100,00	3.900 3.400	1	75	5.850 5.100	2	80,00	3.120 2.720	1	60	4.680 4.080		
3	52 46	2	100,00	2.600 2.300	1	75	3.900 3.450	2	80,00	2.080 1.840	1	60	3.120 2.760		
4	38 34	2	100,00	1.900 1.700	1	75	2.850 2.550	2	80,00	1.520 1.360	1	60	2.280 2.040		
5	30 26	2	100,00	1.500 1.300	1	75	2.250 1.950	2	80,00	1.200 1.040	1	60	1.800 1.560		
6	26 22	2	100,00	1.300 1.100	1	75	1.950 1.650	2	80,00	1.040 880	1	60	1.560 1.320		
7	22 18	2	100,00	1.100 900	1	75	1.650 1.350	2	80,00	880 720	1	60	1.320 1.080		
8	18 16	2	100,00	900 800	1	75	1.350 1.200	2	80,00	720 640	1	60	1.080 960		
9	16 14	2	100,00	800 700	1	75	1.200 1.050	2	80,00	640 560	1	60	960 840		
10	14 12	2	100,00	700 600	1	75	1.050 900	2	80,00	560 480	1	60	840 720		
11	14 12	2	100,00	700 600	1	75	1.050 900	2	80,00	560 480	1	60	840 720		
12	12 10	2	100,00	600 500	1	75	900 750	2	80,00	480 400	1	60	720 600		
13	12 10	2	100,00	600 500	1	75	900 750	2	80,00	480 400	1	60	720 600		
14	10 8	2	100,00	500 400	1	75	750 600	2	80,00	400 320	1	60	600 480		
15	10 8	2	100,00	500 400	1	75	750 600	2	80,00	400 320	1	60	600 480		
Carga de Oportunidad [kW]			0 2		0 2		79 124		79 92						
Total Paradas			80 60		80 60		80 60		80 60						
Paradas / Km			4 3		4 3		4 3		4 3						

Tabla 46: Potencia demandada por el terminal. Recorrido de 20 Km en un sentido

Capacidad de las baterías 450 KWh															
Recorrido 10 Km		Carga Plena 100%						Carga 80%-20% + Carga de oportunidad							
Tiempo de carga [Horas]			3			4			3			4			
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Nº de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Potencia Nominal del por cada Terminal [kW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Potencia Nominal del por cada Terminal [kW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Potencia Nominal del por cada Terminal [kW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Potencia Nominal del por cada Terminal [kW]		
2	148 128	2	150,00	11.100 9.600	1	112,5	16.650 14.400	2	120,00	8.880 7.680	1	90	13.320 11.520		
3	98 86	2	150,00	7.350 6.450	1	112,5	11.025 9.675	2	120,00	5.880 5.160	1	90	8.820 7.740		
4	74 64	2	150,00	5.550 4.800	1	112,5	8.325 7.200	2	120,00	4.440 3.840	1	90	6.660 5.760		
5	58 50	2	150,00	4.350 3.750	1	112,5	6.525 5.625	2	120,00	3.480 3.000	1	90	5.220 4.500		
6	48 42	2	150,00	3.600 3.150	1	112,5	5.400 4.725	2	120,00	2.880 2.520	1	90	4.320 3.780		
7	42 36	2	150,00	3.150 2.700	1	112,5	4.725 4.050	2	120,00	2.520 2.160	1	90	3.780 3.240		
8	36 32	2	150,00	2.700 2.400	1	112,5	4.050 3.600	2	120,00	2.160 1.920	1	90	3.240 2.880		
9	32 28	2	150,00	2.400 2.100	1	112,5	3.600 3.150	2	120,00	1.920 1.680	1	90	2.880 2.520		
10	28 24	2	150,00	2.100 1.800	1	112,5	3.150 2.700	2	120,00	1.680 1.440	1	90	2.520 2.160		
11	26 22	2	150,00	1.950 1.650	1	112,5	2.925 2.475	2	120,00	1.560 1.320	1	90	2.340 1.980		
12	24 20	2	150,00	1.800 1.500	1	112,5	2.700 2.250	2	120,00	1.440 1.200	1	90	2.160 1.800		
13	22 18	2	150,00	1.650 1.350	1	112,5	2.475 2.025	2	120,00	1.320 1.080	1	90	1.980 1.620		
14	20 18	2	150,00	1.500 1.350	1	112,5	2.250 2.025	2	120,00	1.200 1.080	1	90	1.800 1.620		
15	18 16	2	150,00	1.350 1.200	1	112,5	2.025 1.800	2	120,00	1.080 960	1	90	1.620 1.440		
Carga de Oportunidad [kW]			0 0		0 0		45 189		45 118						
Total Paradas			160 120		160 120		160 120		160 120						
Paradas / Km			4 3		4 3		4 3		4 3						

Tabla 47: Potencia demandada por el terminal. Recorrido de 30 Km en un sentido

Capacidad de las baterías 450 KWh													
Recorrido 10 Km		Carga Plena 100%						Carga 80%-20% + Carga de oportunidad					
Tiempo de carga [Horas]		3			4			3			4		
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Nº de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del por cada Terminal [KW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del por cada Terminal [KW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del por cada Terminal [KW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Nominal del por cada Terminal [KW]
2	218 188	2	150,00	16.350 14.100	1	112,5	24.525 21.150	2	120,00	13.080 11.280	1	90	19.620 16.920
3	146 126	2	150,00	10.950 9.450	1	112,5	16.425 14.175	2	120,00	8.760 7.560	1	90	13.140 11.340
4	108 94	2	150,00	8.100 7.050	1	112,5	12.150 10.575	2	120,00	6.480 5.640	1	90	9.720 8.460
5	86 74	2	150,00	6.450 5.550	1	112,5	9.675 8.325	2	120,00	5.160 4.440	1	90	7.740 6.660
6	72 62	2	150,00	5.400 4.650	1	112,5	8.100 6.975	2	120,00	4.320 3.720	1	90	6.480 5.580
7	62 54	2	150,00	4.650 4.050	1	112,5	6.975 6.075	2	120,00	3.720 3.240	1	90	5.580 4.860
8	54 46	2	150,00	4.050 3.450	1	112,5	6.075 5.175	2	120,00	3.240 2.760	1	90	4.860 4.140
9	48 42	2	150,00	3.600 3.150	1	112,5	5.400 4.725	2	120,00	2.880 2.520	1	90	4.320 3.780
10	42 36	2	150,00	3.150 2.700	1	112,5	4.725 4.050	2	120,00	2.520 2.160	1	90	3.780 3.240
11	38 34	2	150,00	2.850 2.550	1	112,5	4.275 3.825	2	120,00	2.280 2.040	1	90	3.420 3.060
12	36 30	2	150,00	2.700 2.250	1	112,5	4.050 3.375	2	120,00	2.160 1.800	1	90	3.240 2.700
13	32 28	2	150,00	2.400 2.100	1	112,5	3.600 3.150	2	120,00	1.920 1.680	1	90	2.880 2.520
14	30 26	2	150,00	2.250 1.950	1	112,5	3.375 2.925	2	120,00	1.800 1.560	1	90	2.700 2.340
15	28 24	2	150,00	2.100 1.800	1	112,5	3.150 2.700	2	120,00	1.680 1.440	1	90	2.520 2.160
Carga de Oportunidad [KW]		0 0		0 0		0 0		118 298		118 102		118 102	
Total Paradas				240 180				240 180				240 180	
Paradas / Km				4 3				4 3				4 3	

12.2 Impacto sobre la red en la Región Metropolitana

Para medir el impacto que tiene el reemplazo de la flota de buses convencionales por eléctricos en la Región Metropolitana (RM), se ha adoptado un enfoque que contiene 2 elementos:

- Determinar parámetros estándar aplicables
- Estimar la demanda a partir del trabajo del capítulo 11 y la sección 12.1.

12.2.1 Resumen de informe de gestión DTPM 2022 [16.12]

En este apartado se resumen algunos elementos relevantes del informe de gestión DTPM 2022⁷, que permiten acotar los parámetros clave para definir el tipo de flotas de buses y terminales de carga que se usarán en el análisis de este documento. La idea es tratar de identificar el tipo de servicio, la magnitud de potencia que demandan los terminales de carga y la distribución de estos que probablemente se implemente en el servicio de transporte público de la región metropolitana. Los parámetros que se determinaron a partir de los datos son los que se indica a continuación.

Los valores medios para longitud de recorrido, kilómetros diarios recorridos por un bus y número de paradas por kilómetro, obtenidos a partir de los datos para el año 2022 en la Tabla 48 son los que se indican. También se muestran entre paréntesis valores determinados a partir de los datos correspondientes al año 2021:

$$\text{Longitud del recorrido} = \frac{\text{Kilómetros de red vial}}{\text{Número de recorridos}} = \frac{2.983}{387} = 7,7 \text{ Km (7,9)}$$

$$\text{Km diarios por un bus} = \frac{\text{Millones de Km recorridos al año}}{365 * \text{Número de buses}} = \frac{390,2 * 10^6}{365 * 6.982} = 153,1 \text{ Km/día (141,8)}$$

$$\text{Nº de paradas} = \frac{\text{Nº de paradas}}{\text{Longitud de red}} = \frac{11.370}{2.983} = 3,8 \text{ paradas/Km (3,8)}$$

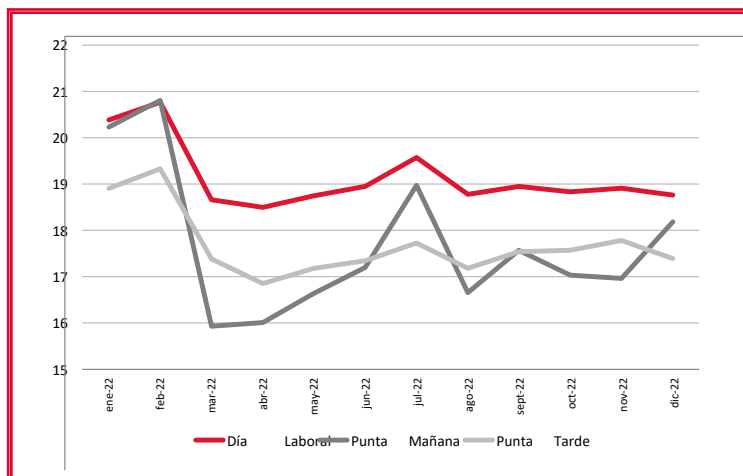
Tabla 48: Magnitudes técnicas descriptivas del servicio de transporte público (página 27)

Sistema	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Transacciones anuales (millones)	1.684	1.678	1.641	1.583	1.553	1.562	1.631	1.515	570	754	1.061
Promedio de transacciones en día laboral	5.307.685	5.595.675	5.499.232	5.304.674	5.200.631	5.298.120	5.509.621	5.129.712	1.926.820	2.549.513	3.579.637
Viajes anuales (millones)	1.087	1.094	1.077	1.047	1.037	1.051	1.100	1.037	397	527	757
Nº de unidades de negocio de buses	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6
Nº de unidades de servicio de buses	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Nº de empresas concesionarias de buses	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	8
Otros operadores de transporte	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Estaciones de Intercambio modal	6	6	6	6	6	6	6	7	8	7	9
Buses											
Transacciones anuales (millones)	1.036	1.010	973	922	881	868	892	789	296	381	497
Promedio de transacciones en día laboral	3.184.289	3.327.495	3.227.563	3.061.457	2.928.639	2.921.837	2.984.797	2.646.880	996.691	1.289.361	1.681.411
Nº de buses ⁽¹⁾	6.298	6.493	6.513	6.550	6.646	6.681	6.756	7.270	6.981	6.895	6.982
Nº de servicios	374	368	371	379	378	377	380	382	379	379	387
Plazas ⁽¹⁾	642.964	665.980	674.391	676.685	682.642	685.257	690.954	736.314	697.270	685.982	692.449
Kilómetros recorridos (millones) ⁽²⁾	469,47	463,75	459,93	460,00	458,69	452,8	449,1	424,2	341,9	356,9	390,2
Longitud de la red vial cubierta por buses (km) ⁽³⁾	2.766	2.770	2.790	2.817	2.821	2.834	2.946	2.967	2.972	2.983	2.983
Nº de paradas	11.165	11.271	11.325	11.328	11.339	11.261	11.327	11.366	11.314	11.337	11.370
Vías segregadas (km)	62	68	69	70	72	81	83	83	87	87	87
Vías exclusivas (km)	31	31	31	31	31	31	31	31	29	29	29
Pistas solo bus (km)	119	119	119	na	na	na	na	n.a	n.a	n.a	n.a
Pistas Solo Bus (kms -Sentido) ⁽⁴⁾	na	na	161	180	200	203	205	219	295	304	304
Cámaras de fiscalización	110	234	234	266	273	405	469	481	476	476	476

⁷ DTPM es el acrónimo del Directorio de Transporte Público Metropolitano.

En el informe de gestión del DTPM (pág. 87) se indica que la velocidad promedio anual de día laboral es de 18,77 Km/h. Se indica además que la velocidad media en horas de punta (pág. 88) es de 17,68 Km/h. La evolución temporal de la velocidad media mensual en 2022 se ilustra en la Figura 8.

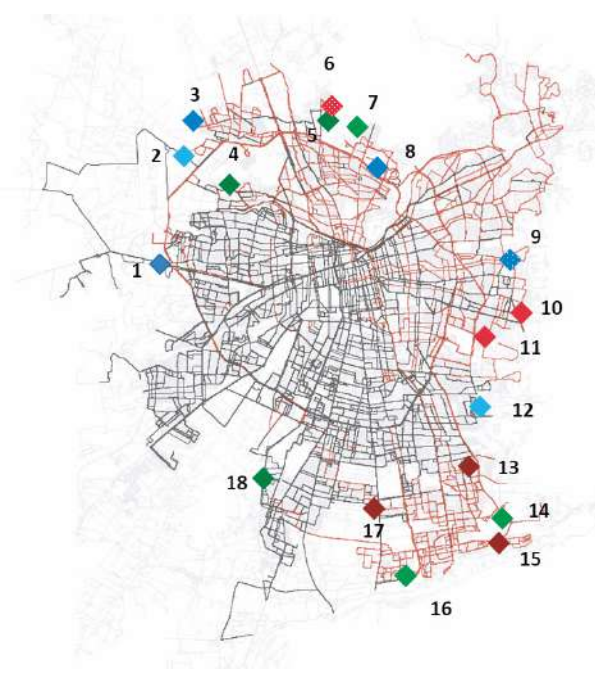
Figura 8: Velocidad media de los buses en servicio (página 88)



En la Figura 9 se muestra la ubicación de los sitios, la potencia disponible y el número de cargadores supuestos obtenidos del DTPM (págs. 34 y 35). El cálculo de la potencia del cargador es exógeno y se determinó a partir de los datos del informe.

En suma, los valores determinados están alineados con los supuestos y resultados correspondientes al recorrido de 10 Km en un sentido, detallados en las secciones 8 a 11.

Figura 9: Sitios Potencia y Cargadores (páginas 34 y 35).



US	Figura	Terminal	Comuna	Potencia MW	Cargadores	Tenencia
US6 - RBU	1	Pudahuel	Pudahuel	0	0	Arriendo
US6 - RBU	2	Lo Echevers	Quilicura	3.120	26	Expropiado
US4 - RBU	3	Colo Colo	Quilicura	2.400	20	Expropiado
US1 - Buses Alfa	4	Condell	Renca	2.765	17	Arriendo
US1 - Buses Alfa	5	Santa Marta	Huechuraba	2.440	15	Arriendo
US3 y US5 - STU	6	Santa Clara	Huechuraba	1.139	7	Arriendo
US2 - Buses Omega	7	Aguirre Luco	Huechuraba	0	0	Expropiado
US4 - RBU	8	El Salto	Huechuraba	2.100	14	Expropiado
US4 y US6 - RBU	9	La Reina	La Reina	0	0	Expropiado
US5 - STU	10	Diagonal Las Torres	Peñalolén	7.483	46	Arriendo
US5 - STU	11	Peñalolén	Peñalolén	2.44	15	Arriendo
US6 - RBU	12	María Angélica	La Florida	0	0	Expropiado
US3 - STU	13	Camilo Henríquez	Puente Alto	2.115	13	Arriendo
US2 - Buses Omega	14	Pie Andino	Puente Alto	3.253	20	Expropiado
US3 - STU	15	Los Tilos	Puente Alto	2.277	14	Expropiado
US2 - Buses Omega	16	Juanita	Puente Alto	3.253	20	Arriendo
US3 - STU	17	La Primavera	Puente Alto	2.765	17	Arriendo
US1 - Buses Alfa	18	Santa Margarita	San Bernardo	0	0	Expropiado

Potencia Cargador [KW]
120,0
120,0
162,6
162,7
162,7
-
150,0
-
162,7
16,3
-
162,7
162,7
162,6
162,7
162,6
-

⁷ DTPM es el acrónimo del Directorio de Transporte Público Metropolitano.

12.2.2 Estimación de la demanda para flota completa de 6452 buses

12.2.2.1 Estimación de la demanda agregada y de terminales recorrido 10 Km en un sentido

Tomando como punto de partida los datos de la sección 12.2.1, se adoptó por analizar las exigencias que imponen 6452 buses, número que corresponde al indicado en el informe de gestión DTPM 2022. Cabe recordar que en este caso la batería del bus es de 300 KWh.

Los datos que se emplean en los cálculos son los determinados para un recorrido de 10 Km en un sentido, considerando frecuencias de pasada de buses en las paradas cada 6, 10 y 12 minutos.

En cuanto al análisis mismo, son 3 los aspectos que se explicitan a continuación:

- Demanda agregada de la flota de buses:** Tomando en cuenta el total de buses (ver Tabla 49), la demanda agregada (que sería la exigencia sobre la infraestructura eléctrica de la región metropolitana), fluctuaría entre 483,9 MW y 322,6 MW cuando la estrategia de uso de las baterías es de carga al 100%, registrándose el mayor valor cuando se decide un tiempo de carga igual a 4 horas y el menor si se escoge 3 horas. Si se adopta una estrategia de carga 80%-20% con carga de oportunidad, las cifras fluctúan entre 387,1 MW y 258,1 MW, correspondiendo el mayor valor a un tiempo de carga de 4 horas y el menor si el tiempo de carga es de 3 horas.

Tabla 49: Demanda agregada de flota de buses Recorrido en un sentido 10 km

Capacidad de las baterías 300 KWh			Número de Buses en Región Metropolitana						6452											
Recorrido 10 Km			Carga Plena 100%						Carga 80%-20% + Carga de oportunidad											
Tiempo de carga [Horas]			3			4			3			4								
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Nº de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Demanda Agregada RM [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Demanda Agregada RM [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Demanda Agregada RM [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Demanda Agregada RM [MW]							
6	26	22	2	100,0	322,6	322,6	1	75	483,9	483,9	2	80,00	258,1	258,1	1	60,0	387,1	387,1		
10	14	12	2	100,0	322,6	322,6	1	75	483,9	483,9	2	80,00	258,1	258,1	1	60,0	387,1	387,1		
12	12	10	2	100,0	322,6	322,6	1	75	483,9	483,9	2	80,00	258,1	258,1	1	60,0	387,1	387,1		
Carga de Oportunidad [KW]			0			2			79			124			79			92		
Total Paradas			80			60			80			60			80			60		
Paradas / Km			4			3			4			3			4			3		

- Número de terminales de carga:** Si se opta por tener un terminal por cada línea de buses, el total de terminales para la región metropolitana es el que se muestra en la Tabla 50. Repartiendo el total de buses en los grupos indicados en la segunda y tercera columna de la misma, el total de terminales resultantes fluctúa entre 248 y 645. Las variables que influyen en incrementar las cifras son el incremento del tiempo entre pasadas sucesivas buses por cada parada y la disminución del número de paradas por kilómetro. Con todo el número de terminales es excesivo, de modo que no parece razonable implementar una estrategia en base a un terminal por recorrido, aun cuando eso tenga la ventaja de poder conectar cada terminal a la red pública de media tensión.

Tabla 50: Número total de terminales de carga para recorridos de 10 Km

Capacidad de las baterías 300 KWh				Número de Buses en Región Metropolitana				6452											
Recorrido 10 Km				Carga Plena 100%				Carga 80%-20% + Carga de oportunidad											
Tiempo de carga [Horas]		3			4			3			4								
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Nº de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Número de Terminales	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Número de Terminales	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Número de Terminales	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Número de Terminales						
6	26	22	2	100	248	293	1	75	248	293	2	80	248	293	1	60,0	387,1	293	
10	14	12	2	100	461	538	1	75	461	538	2	80	461	538	1	60,0	387,1	538	
12	12	10	2	100	538	645	1	75	538	645	2	80	538	645	1	60,0	387,1	645	
Carga de Oportunidad [KW]				0	2			0	2			79	124			79	92		
Total Paradas				80	60			80	60			80	60			80	60		
Paradas / Km				4	3			4	3			4	3			4	3		

• **Exigencias para terminales de carga de mayor escala:** Lo que aquí analiza es justamente tomar una estrategia opuesta a la anterior. En este caso, se busca concentrar un gran número de buses en un terminal. En la Tabla 51 se muestran agrupaciones de 400, 600 y 800 buses por terminal. Se aprecia en ella lo siguiente:

- El número de terminales que disminuye conforme se concentran más buses, fluctúa entre 16 y 8.
- Para carga plena 100% y tiempo de carga de 3 horas, la potencia del terminal se mueve en el rango de 20 a 40 MW. Si se ocupa un tiempo de carga de 4 horas, la potencia del terminal se mueve entre 30 y 60 MW.
- Para carga 80%-20% con carga de oportunidad y tiempo de carga de 3 horas, la potencia del terminal se mueve en el rango de 16 a 32 MW. Si se ocupa un tiempo de carga de 4 horas, la potencia del terminal se mueve entre 24 y 48 MW.

Vistos los resultados, es claro que la solución pasa por incorporar una subestación eléctrica de alta a media tensión, con 2 transformadores en ella por un problema de confiabilidad.

Tabla 51: Análisis para terminales de mayor escala recorrido 10 Km

Capacidad de las baterías 300 KWh				Número de Buses en Región Metropolitana				6452									
Recorrido 10 Km				Carga Plena 100%				Carga 80%-20% + Carga de oportunidad									
Tiempo de carga [Horas]		3			4			3			4						
Nº de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]	
400	2	100	17	20,00	1	75	17	30,0	2	80	17	16,0	1	60	17	24,0	
600	2	100	11	30,00	1	75	11	45,0	2	80	11	24,0	1	60	11	36,0	
800	2	100	9	40,00	1	75	9	60,0	2	80	9	32,0	1	60	9	48,0	
Carga de Oportunidad [KW]				0	2			0	2			92	105			92	105
Total Paradas				80	60			80	60			80	60			80	60
Paradas / Km				4	3			4	3			4	3			4	3

12.2.2.2 Estimación de la demanda agregada y de terminales recorrido 20 Km en un sentido

En este apartado y más bien cómo un análisis de sensibilidad, se adoptó por estudiar las exigencias que imponen los mismos 6452 buses, esta vez suponiendo que el recorrido en un sentido es de 20 Kilómetros. Cabe recordar que en este caso la batería del bus es de 450 KWh.

Los datos que se emplean en los cálculos son los determinados para un recorrido de 20 Km en un sentido, considerando frecuencias de pasada de buses en las paradas cada 6, 10 y 12 minutos. Son 3 los aspectos que se explicitan a continuación.

- **Demanda agregada de la flota de buses:** Tomando en cuenta el total de buses (ver Tabla 52), la demanda agregada, que sería la exigencia sobre la infraestructura eléctrica de la región metropolitana, fluctuaría entre 725,9 MW y 483,9 MW cuando la estrategia de uso de las baterías es de carga al 100%, el mayor valor se registra cuando la estrategia de uso de las baterías es de carga al 100%, registrándose el mayor valor cuando se decide un tiempo de carga igual a 4 horas y el menor si se escoge 3 horas. Si se adopta una estrategia de carga 80%-20% con carga de oportunidad, las cifras fluctúan entre 580,7 MW y 387,1 MW, correspondiendo el mayor valor a un tiempo de carga de 4 horas y el menor si el tiempo de carga es de 3 horas.

Tabla 52: Demanda agregada de flota de buses Recorrido en un sentido 20 km

Capacidad de las baterías 300 KWh			Número de Buses en Región Metropolitana						6452											
Recorrido 10 Km			Carga Plena 100%						Carga 80%-20% + Carga de oportunidad											
Tiempo de carga [Horas]			3			4			3			4								
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Nº de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Demanda Agregada RM [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Demanda Agregada RM [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Demanda Agregada RM [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Demanda Agregada RM [MW]							
6	48	42	2	150,0	483,9	483,9	1	112,5	725,9	725,9	2	120,0	387,1	387,1	1	90,0	580,7	580,7		
10	28	24	2	150,0	483,9	483,9	1	112,5	725,9	725,9	2	120,0	387,1	387,1	1	90,0	580,7	580,7		
12	24	20	2	150,0	483,9	483,9	1	112,5	725,9	725,9	2	120,0	387,1	387,1	1	90,0	580,7	580,7		
Carga de Oportunidad [KW]			0			0			45			189			45			118		
Total Paradas			160			120			160			120			160			120		
Paradas / Km			4			3			4			3			4			3		

- **Número de terminales de carga:** Si se opta por tener un terminal por cada línea de buses, el total de terminales para la región metropolitana es el que se muestra en la Tabla 53. Repartiendo el total de buses en los grupos indicados en la segunda y tercera columna de la misma, el total de terminales resultantes fluctúa entre 134 y 323. Las variables que influyen en incrementar las cifras son el incremento del tiempo entre pasadas sucesivas buses por cada parada y la disminución del número de paradas por kilómetro. Con todo el número de terminales es excesivo, de modo que no parece razonable implementar una estrategia en base a un terminal por recorrido, aun cuando eso tenga la ventaja de poder conectar cada terminal a la red pública de media tensión.

Tabla 53: Número total de terminales de carga para recorridos de 20 Km

Capacidad de las baterías 300 KWh			Número de Buses en Región Metropolitana						6452					
Recorrido 10 Km			Carga Plena 100%						Carga 80%-20% + Carga de oportunidad					
Tiempo de carga [Horas]			3			4			3			4		
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Nº de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales	
6	48 42	2	150	134 154	1	112,5	134 154	2	120	134 154	1	90	134 154	
10	28 28	2	150	230 269	1	112,5	230 269	2	120	230 269	1	90	230 269	
12	24 20	2	150	269 323	1	112,5	269 323	2	120	269 323	1	90	269 323	
Carga de Oportunidad [KW]			0 0			0 0			45 189			45 118		
Total Paradas			120 160			120 160			160 120			160 120		
Paradas / Km			4 3			4 3			4 3			4 3		

- Exigencias para terminales de carga de mayor escala: Lo que aquí analiza es justamente tomar una estrategia opuesta a la anterior. En este caso, se busca concentrar un gran número de buses en un terminal. En la Tabla 54 se muestran agrupaciones de 400, 600 y 800 buses por terminal. Se aprecia en ella lo siguiente:
 - El número de terminales que disminuye conforme se concentran más buses, fluctúa entre 16 y 8.
 - Para carga plena 100% y tiempo de carga de 3 horas, la potencia del terminal se mueve en el rango de 30 a 60 MW. Si se ocupa un tiempo de carga de 4 horas, la potencia del terminal se mueve entre 45 y 90 MW.
 - Para carga 80%-20% con carga de oportunidad y tiempo de carga de 3 horas, la potencia del terminal se mueve en el rango de 24 a 48 MW. Si se ocupa un tiempo de carga de 4 horas, la potencia del terminal se mueve entre 36 y 72 MW.

Vistos los resultados, es claro que la solución pasa por incorporar una subestación eléctrica de alta a media tensión, con 2 transformadores en ella por un problema de confiabilidad.

Tabla 54: Análisis para terminales de mayor escala recorrido 20 Km

Capacidad de las baterías 300 KWh			Número de Buses en Región Metropolitana						1200					
Recorrido 10 Km			Carga Plena 100%						Carga 80%-20% + Carga de oportunidad					
Tiempo de carga [Horas]			3			4			3			4		
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Nº de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Demanda Agregada RM [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Demanda Agregada RM [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Demanda Agregada RM [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Demanda Agregada RM [MW]	
6	26 22	2	100,0	60,0 60,0	1	75	90,0 90,0	2	80,0	48,0 48,0	1	60,0	72,0 72,0	
10	14 12	2	100,0	60,0 60,0	1	75	90,0 90,0	2	80,0	48,0 48,0	1	60,0	72,0 72,0	
12	12 10	2	100,0	60,0 60,0	1	75	90,0 90,0	2	80,0	48,0 48,0	1	60,0	72,0 72,0	
Carga de Oportunidad [KW]			0 2			0 2			79 124			79 92		
Total Paradas			80 60			80 60			80 60			80 60		
Paradas / Km			4 3			4 3			4 3			4 3		

12.2.2.3 Impacto en la Demanda de Potencia

Considerando que la demanda máxima bruta anual del SEN en 2023 fue de 11.500 MW y la de Enel Distribución de unos 3.500 MW, la proporción de la demanda agregada de los buses eléctricos fluctúa entre un 7% y un 21% de la demanda máxima actual de la Región Metropolitana. Si las demandas mencionadas se suman o no a la máxima regional depende de si coinciden o no con ella. Los procesos de carga nocturna no son coincidentes con la demanda máxima regional de modo que no contribuyen a la máxima. Distinto es el caso de la carga de oportunidad que si es sumable. En el extremo, si los buses sólo recibieran cargas de oportunidad durante las horas de recorrido, la coincidencia entre la demanda regional y la de los terminales podría ser máxima.

12.2.3 Estimación de la demanda para flota de 1200 buses

12.2.3.1 Estimación de la demanda agregada y de terminales recorrido 10 Km en un sentido

Tomando como punto de partida los datos de la sección 12.2.1, se adoptó por analizar las exigencias que imponen 1200 buses, número que corresponde al indicado en la licitación MTT 2023. Cabe recordar que en este caso la batería del bus es de 300 KWh.

Los datos que se emplean en los cálculos son los determinados para un recorrido de 10 Km en un sentido, considerando frecuencias de pasada de buses en las paradas cada 6, 10 y 12 minutos.

En cuanto al análisis mismo, son 3 los aspectos que se explicitan a continuación:

- **Demanda agregada de la flota de buses:** Tomando en cuenta el total de buses (ver Tabla 55), la demanda agregada (que sería la exigencia sobre la infraestructura eléctrica de la región metropolitana), fluctuaría entre 60 MW y 90 MW cuando la estrategia de uso de las baterías es de carga al 100%, registrándose el mayor valor cuando se decide un tiempo de carga igual a 4 horas y el menor si se escoge 3 horas. Si se adopta una estrategia de carga 80%-20% con carga de oportunidad, las cifras fluctúan entre 48 MW y 72 MW, correspondiendo el mayor valor a un tiempo de carga de 4 horas y el menor si el tiempo de carga es de 3 horas.

Tabla 55: Demanda agregada de flota de buses Recorrido en un sentido 10 km

Capacidad de las baterías 300 KWh			Número de Buses en Región Metropolitana						1200									
Recorrido 10 Km			Carga Plena 100%						Carga 80%-20% + Carga de oportunidad									
Tiempo de carga [Horas]			3			4			3			4						
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Nº de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Demanda Agregada RM [MW]		Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Demanda Agregada RM [MW]		Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Demanda Agregada RM [MW]						
6	26	22	2	100,0	60,0	60,0	1	75	90,0	90,0	2	80,0	48,0	48,0	1	60,0	72,0	72,0
10	14	12	2	100,0	60,0	60,0	1	75	90,0	90,0	2	80,0	48,0	48,0	1	60,0	72,0	72,0
12	12	10	2	100,0	60,0	60,0	1	75	90,0	90,0	2	80,0	48,0	48,0	1	60,0	72,0	72,0
Carga de Oportunidad [KW]			0			2	0			2	79			124	79			92
Total Paradas			80			60	80			60	80			60	80			60
Paradas / Km			4			3	4			3	4			3	4			3

- **Número de terminales de carga:** Si se opta por tener un terminal por cada línea de buses, el total de terminales para la región metropolitana es el que se muestra en la Tabla 56. Repartiendo el total de buses en los grupos indicados en la segunda y tercera columna de la misma, el total de terminales resultantes fluctúa entre 46 y 120. Las variables que influyen en incrementar las cifras son el incremento del tiempo entre pasadas sucesivas buses por cada parada y la disminución del número de paradas por kilómetro. Con todo el número de terminales es excesivo, de modo que no parece razonable implementar una estrategia en base a un terminal por recorrido, aun cuando eso tenga la ventaja de poder conectar cada terminal a la red pública de media tensión.

Tabla 56: Número total de terminales de carga para recorridos de 10 Km

Capacidad de las baterías 300 KWh			Número de Buses en Región Metropolitana						6452					
Recorrido 10 Km			Carga Plena 100%						Carga 80%-20% + Carga de oportunidad					
Tiempo de carga [Horas]			3			4			3			4		
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	N° de buses por Terminal		Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales		Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales		Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales	
6	26	22	2	100	46	55	1	75	46	55	2	80	46	55
10	14	12	2	100	86	100	1	75	86	100	2	80	86	100
12	12	10	2	100	100	120	1	75	100	120	2	80	100	120
Carga de Oportunidad [KW]			0 2			0 2			79 124			79 92		
Total Paradas			80 60			80 60			80 60			80 60		
Paradas / Km			4 3			4 3			4 3			4 3		

- **Exigencias para terminales de carga de mayor escala:** Lo que aquí analiza es justamente tomar una estrategia opuesta a la anterior. En este caso, se busca concentrar un gran número de buses en un terminal. En la Tabla 57 se muestran agrupaciones de 150, 200 y 250 buses por terminal. Se aprecia en ella lo siguiente:
 - El número de terminales que disminuye conforme se concentran más buses, fluctúa entre 8 y 5.
 - Para carga plena 100% y tiempo de carga de 3 horas, la potencia del terminal se mueve en el rango de 8 a 13 MW. Si se ocupa un tiempo de carga de 4 horas, la potencia del terminal se mueve entre 11 y 19 MW.
 - Para carga 80%-20% con carga de oportunidad y tiempo de carga de 3 horas, la potencia del terminal se mueve en el rango de 6 a 10 MW. Si se ocupa un tiempo de carga de 4 horas, la potencia del terminal se mueve entre 9 y 15 MW.

Vistos los resultados, es claro que en algunos casos, la solución puede establecerse con alimentadores dedicados en media tensión y en otros pasa por incorporar una subestación eléctrica de alta a media tensión para alimentar la red de media tensión del terminal. En todos los casos se necesita una alimentación redundante por un problema de confiabilidad.

Tabla 57: Análisis para terminales de mayor escala recorrido 10 Km

Capacidad de las baterías 300 KWh			Número de Buses en Región Metropolitana						1200					
Recorrido 20 Km			Carga Plena 100%						Carga 80%-20% + Carga de oportunidad					
Tiempo de carga [Horas]			3			4			3			4		
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Nº de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Demanda Agregada RM [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Demanda Agregada RM [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Demanda Agregada RM [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Demanda Agregada RM [MW]	
6	48 42	2	150,0	90,0 90,0	1	112,5	135,0 135,0	2	120,0	72,0 72,0	1	90,0	108,0 108,0	
10	28 24	2	150,0	90,0 90,0	1	112,5	135,0 135,0	2	120,0	72,0 72,0	1	90,0	108,0 108,0	
12	24 20	2	150,0	90,0 90,0	1	112,5	135,0 135,0	2	120,0	72,0 72,0	1	90,0	108,0 108,0	
Carga de Oportunidad [kW]		0 0		0 0		45 189		45 118						
Total Paradas		160 120		160 120		160 120		160 120						
Paradas / Km		4 3		4 3		4 3		4 3						

12.2.3.2 Estimación de la demanda agregada y de terminales recorrido 20 Km en un sentido

En este apartado y más bien cómo un análisis de sensibilidad, se adoptó por estudiar las exigencias que imponen los mismos 1200 buses, esta vez suponiendo que el recorrido en un sentido es de 20 Kilómetros. Cabe recordar que en este caso la batería del bus es de 450 KWh.

Los datos que se emplean en los cálculos son los determinados para un recorrido de 20 Km en un sentido, considerando frecuencias de pasada de buses en las paradas cada 6, 10 y 12 minutos. Son 3 los aspectos que se explicitan a continuación.

- **Demanda agregada de la flota de buses:** Tomando en cuenta el total de buses (ver Tabla 58), la demanda agregada, que sería la exigencia sobre la infraestructura eléctrica de la región metropolitana, fluctuaría entre 90 MW y 135 MW cuando la estrategia de uso de las baterías es de carga al 100%, el mayor valor se registra cuando la estrategia de uso de las baterías es de carga al 100%, registrándose el mayor valor cuando se decide un tiempo de carga igual a 4 horas y el menor si se escoge 3 horas. Si se adopta una estrategia de carga 80%-20% con carga de oportunidad, las cifras fluctúan entre 72 MW y 108 MW, correspondiendo el mayor valor a un tiempo de carga de 4 horas y el menor si el tiempo de carga es de 3 horas.

Tabla 58: Demanda agregada de flota de buses Recorrido en un sentido 20 km

Capacidad de las baterías 300 KWh			Número de Buses en Región Metropolitana						1200					
Recorrido 20 Km			Carga Plena 100%						Carga 80%-20% + Carga de oportunidad					
Tiempo de carga [Horas]			3			4			3			4		
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Nº de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Demanda Agregada RM [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Demanda Agregada RM [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Demanda Agregada RM [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Demanda Agregada RM [MW]	
6	48 42	2	150,0	90,0 90,0	1	112,5	135,0 135,0	2	120,0	72,0 72,0	1	90,0	108,0 108,0	
10	28 24	2	150,0	90,0 90,0	1	112,5	135,0 135,0	2	120,0	72,0 72,0	1	90,0	108,0 108,0	
12	24 20	2	150,0	90,0 90,0	1	112,5	135,0 135,0	2	120,0	72,0 72,0	1	90,0	108,0 108,0	
Carga de Oportunidad [kW]		0 0		0 0		45 189		45 118						
Total Paradas		160 120		160 120		160 120		160 120						
Paradas / Km		4 3		4 3		4 3		4 3						

Número de terminales de carga: Si se opta por tener un terminal por cada línea de buses, el total de terminales para la región metropolitana es el que se muestra en la Tabla 59. Repartiendo el total de buses en los grupos indicados en la segunda y tercera columna de la misma, el total de terminales resultantes fluctúa entre 25 y 60. Las variables que influyen en incrementar las cifras son el incremento del tiempo entre pasadas sucesivas buses por cada parada y la disminución del número de paradas por kilómetro. Con todo el número de terminales es excesivo, de modo que no parece razonable implementar una estrategia en base a un terminal por recorrido, aun cuando eso tenga la ventaja de poder conectar cada terminal a la red pública de media tensión.

Tabla 59: Número total de terminales de carga para recorridos de 20 Km

Capacidad de las baterías 300 KWh			Número de Buses en Región Metropolitana						6452					
Recorrido 20 Km			Carga Plena 100%						Carga 80%-20% + Carga de oportunidad					
Tiempo de carga [Horas]			3			4			3			4		
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Nº de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales	
6	48 42	2	150	25 29	1	112,5	25 29	2	120	25 29	1	90	46 55	
10	28 24	2	150	43 50	1	112,5	43 50	2	120	43 50	1	90	86 100	
12	24 20	2	150	50 60	1	112,5	50 60	2	120	50 60	1	90	100 120	
Carga de Oportunidad [KW]				0 0	0 0				45 189				45 118	
Total Paradas				160 120	160 120				160 120				160 120	
Paradas / Km				4 3	4 3				4 3				4 3	

- **Exigencias para terminales de carga de mayor escala:** Lo que aquí analiza es justamente tomar una estrategia opuesta a la anterior. En este caso, se busca concentrar un gran número de buses en un terminal. En la Tabla 60 se muestran agrupaciones de 150, 200 y 250 buses por terminal. Se aprecia en ella lo siguiente:
 - El número de terminales que disminuye conforme se concentran más buses, fluctúa entre 8 y 5.
 - Para carga plena 100% y tiempo de carga de 3 horas, la potencia del terminal se mueve en el rango de 11 a 19 MW. Si se ocupa un tiempo de carga de 4 horas, la potencia del terminal se mueve entre 17 y 28 MW.
 - Para carga 80%-20% con carga de oportunidad y tiempo de carga de 3 horas, la potencia del terminal se mueve en el rango de 9 a 15 MW. Si se ocupa un tiempo de carga de 4 horas, la potencia del terminal se mueve entre 14 y 23 MW.

Vistos los resultados, es claro que en algunos casos, la solución puede establecerse con alimentadores dedicados en media tensión y en otros pasa por incorporar una subestación eléctrica de alta a media tensión para alimentar la red de media tensión del terminal. En todos los casos se necesita una alimentación redundante por un problema de confiabilidad.

Tabla 60: Análisis para terminales de mayor escala recorrido 20 Km

Capacidad de las baterías 300 KWh				Número de Buses en Región Metropolitana				1200								
Recorrido 20 Km		Carga Plena 100%				Carga 80%-20% + Carga de oportunidad										
Tiempo de carga [Horas]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal			
Nº de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal MW]
150	2	150	8	11	1	112,5	8	17	2	120	8	9	1	90	8	14
200	2	150	6	15	1	112,5	6	23	2	120	6	12	1	90	6	18
250	2	150	5	19	1	112,5	5	28	2	120	5	15	1	90	5	23
Carga de Oportunidad [KW]	0				0				45				189			
Total Paradas	160				120				160				120			
Paradas / Km	4				3				4				3			

12.2.3.3 Impacto en la Demanda de Potencia

Tomando como base una demanda máxima de 3,500 MW para la RM y que la potencia que requerirán los terminales podría fluctuar entre 48 y 135 MW, según sea el caso, la proporción de la demanda agregada de los buses eléctricos fluctúa entre un 1,3% y un 3,9% de la demanda máxima actual de la RM, magnitudes que son comparables con la tasa anual de crecimiento de la demanda agregada. Si las demandas mencionadas se suman o no a la máxima regional depende de si coinciden o no con ella. Los procesos de carga nocturna no son coincidentes con la demanda máxima regional de modo que no contribuyen a la máxima. Distinto es el caso de la carga de oportunidad que si es sumable. En el extremo, si los buses sólo recibieran cargas de oportunidad durante las horas de recorrido, la coincidencia entre la demanda regional y la de los terminales podría ser máxima.

12.3 Impacto sobre la red en las principales ciudades de Regiones

En esta sección se analiza el impacto sobre la red eléctrica de reemplazar el transporte público diésel por eléctrico en las regiones del país, mostrando el caso de algunas ciudades. La información del número de buses y sus características generales se estimaron tal cómo se indica en la sección 5.1, cuya fuente es [16.10]. El total de autobuses determinados a partir de la fuente señalada es 11.077. La apertura por regiones con detalle para las principales ciudades se muestra en la Tabla 61.

Tabla 61: Estimación de número de buses por ciudad y región

Número de Buses				Número de Buses					
Región	Ciudad	Ciudad	Región	Región	Ciudad	Ciudad	Región		
Arica y Parinacota	Arica	248	248	Bío Bío	Concepción	787	3046		
Tarapacá	Alto Hospicio	246	355		Tomé	150			
	Iquique	109			Talcahuano	290			
Antofagasta	Calama	235	972		Penco	177			
	Tocopilla	8			San Pedro de la paz	245			
	Antofagasta	729			Chiguayante	497			
Atacama	Copiapó	70	97		Hualpén	107			
	Vallenar	27			Coronel	136			
Coquimbo	Ovalle	73	567		Lota	322			
	La Serena	223			Los Ángeles	174			
	Coquimbo	271		Hualqui	161				
Valparaíso	Villa Alemana	531	2182	Araucanía	Villarica	44	947		
	Quilpué	53			Temuco	648			
	Viña del Mar	480			Padre las Casas	120			
	Valparaíso	919			Vilcún	107			
	Limache	191			Nueva Imperial	3			
	Puchancaví	8			Saavedra	2			
O'Higgins	Rancagua	298	328		Carahue	3			
	Machalí	30			Lautaro	20			
Maule	Linares	120	672		Los Lagos	Osorno		329	908
	Maule	100				Puerto Montt		518	
	Curicó	188		Ancud		13			
	Talca	264		Castro		32			
Ñuble	Chillán	353	368	Quellón		16			
	Chillán Viejo	15		Los Ríos	Valdivia	317	317		
				Magallanes	Punta Arenas	70	70		
Total Regiones						11077			

Durante el desarrollo del trabajo de detalle, en las fichas del catastro de [16.10] se pudo constatar en las fotografías que la mayoría de los vehículos son autobuses, con capacidad para unos 20 a 24 pasajeros sentados. Por esta razón se escogió un bus de menor tamaño (ver Figura 10) para hacer los cálculos con los mismos modelos del resto del estudio.

Figura 10: Bus eléctrico de 8,5 m de largo y 15-30 asientos



parámetros principales

dimensiones (mm)	10450 × 2550 × 3150 (3250)
asientos	95 / 19-39,78 / 19-39
g.v.w (kg)	18000
suspensión delantera / trasera (mm)	2270/2080
distancia entre ejes (mm)	6100
kilometraje en condiciones de trabajo (con a / c / no a / c) (km)	270/350

configuraciones principales

Batería de Litio	energía de la batería 300,81kwh
motor	potencia 100 / 200kw
controlador del motor	controlador cinco en uno
controlador de vehículo	akecu-1
sistema de suspensión	Suspensión de aire
Eje frontal	eje delantero 6,5 t / freno de disco
eje posterior	eje trasero 11,5 t / freno de tambor
freno de servicio	freno neumático de doble circuito , brazo autoajustable
abdominales	si
sistema de dirección	dirección electrohidráulica
llantas	11r22.5
marco del cuerpo	monocasco
C-A	aire acondicionado aéreo , capacidad de enfriamiento 2800kcal / h
calentador	Opcional
TV	Opcional
puerta del pasajero	puerta abatible neumática
otros	electroforesis del vehículo , monitor de marcha atrás

Los resultados que se resumen en las 2 tablas siguientes tienen como supuesto inicial que el número de buses en cada ciudad es igual al que despejó el catastro. La demanda agregada a nivel de regiones se muestra en la Tabla 62. La potencia de los terminales corresponde a los casos de carga plena 100% y de carga 80%-20% con carga de oportunidad. Se analiza en cada caso el efecto de carga en 3 y 4 horas respectivamente.

Tabla 62: Demanda agregada a nivel regional de terminales de buses

Total Regiones	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
	Número de buses	11077		
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Regiones [MW]	554	826	440	660

La apertura por regiones se muestra en la Tabla 63. Se aprecia en ella que la región con mayor demanda es la del Bío Bío con magnitudes que fluctúan entre 121,8 MW y 228,5 MW según sea el caso. En segundo lugar, la región de Valparaíso con magnitudes de demanda que se sitúan en el rango de 87,3 MW y 167,3 MW dependiendo del caso. Luego se ubican las regiones de Antofagasta, Maule, Araucanía y Los Lagos con magnitudes comprendidas entre 40 MW y 75 MW según sea el caso que se estudie. Las demanda de las demás regiones es inferior a 40 MW.

Tabla 63: Demanda de terminales por Región en función del tipo y tiempo de carga

Arica y Parinacota		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	248				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		12,4	18,6	9,9	14,9
Tarapacá		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	355				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		17,8	26,6	14,2	21,3
Antofagasta		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	972				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		48,6	72,9	38,9	53,3
Atacama		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	97				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		4,9	7,3	3,9	5,8
Coquimbo		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	567				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		28,4	42,5	22,7	34,0
Valparaíso		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	2182				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		109,1	163,7	87,3	130,9
O'Higgins		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	328				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		16,4	24,6	13,1	19,7
Maule		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	672				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		33,6	50,4	26,9	40,3
Ñuble		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	368				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		18,4	27,6	14,7	22,1
Bío Bío		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	3046				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		152,3	228,5	121,8	182,8

Araucanía		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	947				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		47,4	71,0	37,9	56,8
Los Lagos		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	908				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		45,4	68,1	36,3	54,5
Los Ríos		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	317				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		15,9	18,6	9,9	14,9
Magallanes		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	70				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		3,5	5,3	2,8	4,2

12.3.1 Ciudades con demandas altas

En el Anexo: **Demanda de terminales por ciudad en regiones**, adjunto al final de este informe, se detalla la demanda y el número de terminales por ciudad. Se puede apreciar allí que existen ciudades donde el número de buses es elevado y como resultado de aplicar la lógica de un recorrido un terminal se obtiene un número de terminales muy alto.

Se ilustra esta situación con la ciudad de Concepción con 787 buses. En la Tabla 64 se aprecia que el número de terminales fluctúa entre 30 y 79, dependiendo del número de buses por terminal y el de paradas por kilómetro. Como alternativa se pueden diseñar terminales multi recorrido que concentre un mayor número de buses. En la Tabla 65 se muestra el caso de concentraciones de 50, 100 y 150 buses por terminal, para estas situaciones el número de terminales resultantes son 16, 8 y 5 respectivamente.

En el anexo, situaciones similares se aprecian para Antofagasta, Villa Alemana, Viña de Mar, Valparaíso, Talcahuano y Temuco.

Tabla 64: N° de terminales y buses en la ciudad de Concepción. Un terminal por recorrido

Capacidad de las baterías 300 KWh		Número de Buses en Concepción										787						
Recorrido 10 Km		Carga Plena 100%						Carga 80%-20% + Carga de oportunidad										
Tiempo de carga [Horas]		3			4			3			4							
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	N° de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Número de Terminales	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Número de Terminales	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Número de Terminales	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Número de Terminales					
6	26	22	2	100,00	30	36	1	75	30	36	2	80,00	30	36	1	60,00	30	36
10	14	12	2	100,00	56	66	1	75	56	66	2	80,00	56	66	1	60,00	56	66
12	12	10	2	100,00	66	79	1	75	66	79	2	80,00	66	79	1	60,00	66	79
Carga de Oportunidad [kW]		0				0				23				69				
Total Paradas		80				60				80				60				
Paradas / Km		4				3				4				3				

Tabla 65: N° de terminales y buses en la ciudad de Concepción. Terminal multi recorrido

Capacidad de las baterías 300 KWh		Número de Buses en Concepción										787					
Recorrido 10 Km		Carga Plena 100%						Carga 80%-20% + Carga de oportunidad									
Tiempo de carga [Horas]		Máximo de Cargas Diferidas en Terminal				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal				Máximo de Cargas Diferidas en Terminal			
N° de buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]	
50	2	100,00	16	3	1	75	16	4	2	80,00	16	2	1	60,00	16	3	
100	2	100,00	8	5	1	75	8	8	2	80,00	8	4	1	60,00	8	6	
150	2	100,00	5	8	1	75	5	11	2	80,00	5	6	1	60,00	5	9	
Carga de Oportunidad [kW]		0				0				23				69			
Total Paradas		80				60				80				60			
Paradas / Km		4				3				4				3			

CONDICIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

13

The background of the page is a photograph of an electric bus charging station. Several red and white buses are parked in a row. Large, thick orange charging cables are draped over the buses and connected to a charging station on the left. The scene is set in an outdoor parking area with a grey sky.

13. CONDICIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

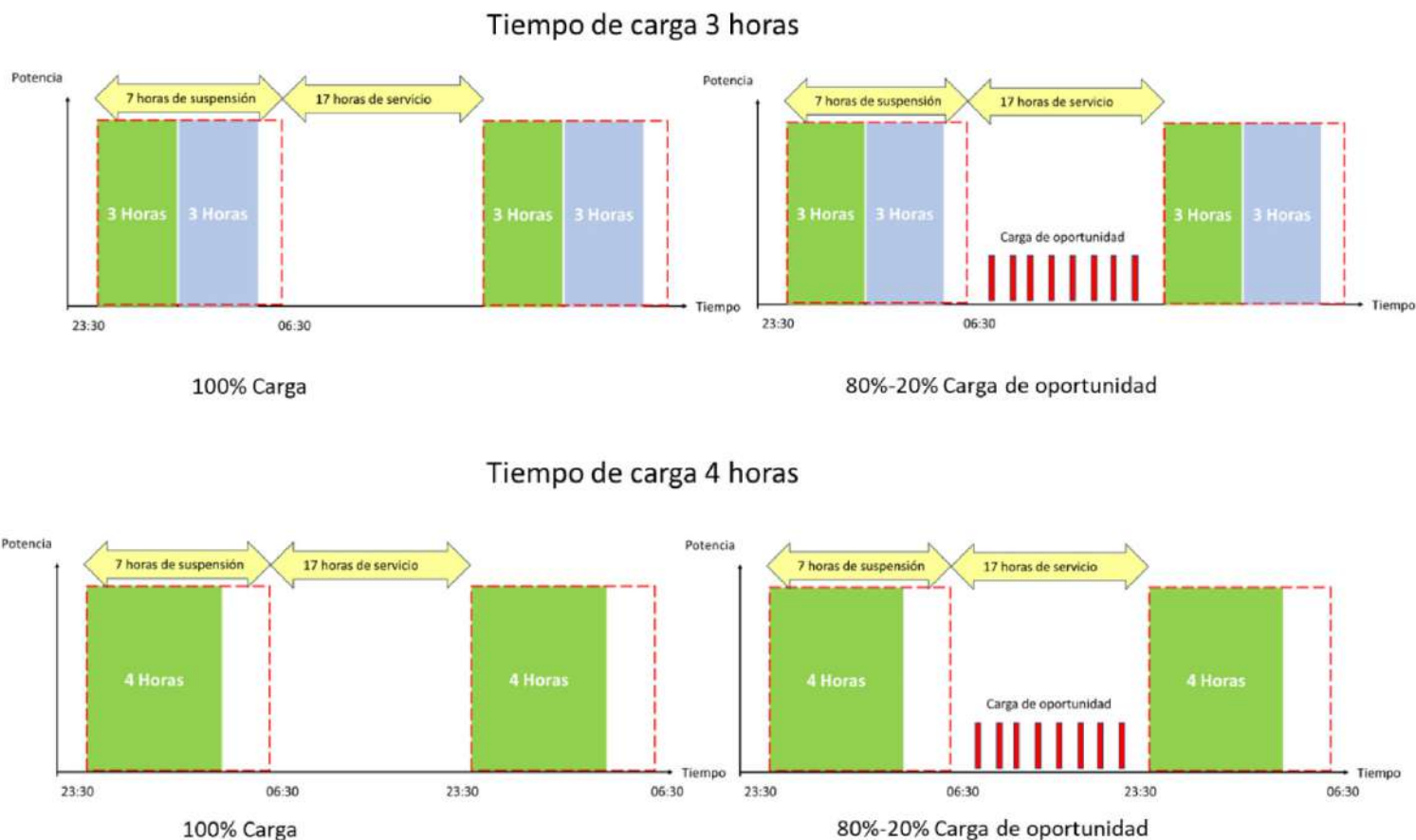
En las 4 secciones de este capítulo se aborda la curva de carga del terminal de buses en forma y temporalidad, el tipo de energía que demandarán los terminales, la redundancia de la infraestructura eléctrica necesaria y la seguridad de suministro de energía.

13.1 Forma de curva de carga

Atendiendo a que una parte importante de la carga de las baterías de los buses eléctricos se lleva a cabo en el terminal durante las horas nocturnas cuando el servicio está suspendido, la mayor demanda se registrará durante esas horas, prácticamente 100% cuando se ocupa el régimen de ciclo de carga completo. Cuando se emplea carga 80%-20% con carga de oportunidad la situación es diferente porque existirá una demanda de carga de oportunidad durante las horas en que se está prestando el servicio, cada vez que un bus visite el terminal.

Las formas de las curvas de carga para distintos tiempos de carga y los casos de ciclo de carga 100% y de carga 80%-20% con carga de oportunidad se muestran esquemáticamente en la Figura 11.

Figura 11: Formas esquemáticas de curva de carga para terminales



Para estimar la demanda de potencia y energía del terminal en horas de servicio suspendido, es necesario conocer el número de buses que allí residen, la energía y el régimen de carga de las baterías, la potencia de los cargadores y el número de horas de carga. Para la demanda asociada a la carga de oportunidad, que ocurre en las horas en que el servicio está activo, además es necesario conocer el número de buses de cada recorrido, la duración de la carga de oportunidad y la duración del circuito de recorrido. Este último es función de la distancia recorrida, el número de detenciones por kilómetro. Las ecuaciones que permiten hacer esos cálculos, suponiendo que todos los recorridos del terminal tienen igual longitud, se muestran a continuación:

$$\begin{aligned}
 \text{a. } Ptfs &= nbt * Pcg / ncd && \text{[KW]} \\
 \text{b. } Etf s &= Ebt * nbt * nrd && \text{[KWh]} \\
 \text{c. } Pcop &= Pcop * nrt && \text{[KW]} \\
 \text{d. } Etop &= Eod * nbt * nrd && \text{[KWh]} \\
 \text{e. } Edem &= (Etf s + Etop) * 365 / 1000 && \text{[MWh]}
 \end{aligned}$$

Cuyo significado es el siguiente:

Ptfs: Potencia requerida por el terminal para cargar la totalidad de los buses residentes.
 Etf s: Energía diaria demandada por el terminal para cargar la totalidad de los buses residentes.
 Pcop: Potencia para carga de oportunidad durante la visita de los buses al terminal.
 Etop: Energía diaria para carga de oportunidad durante la visita de los buses al terminal.
 Edem: Energía anual demandada por el terminal.

Donde:

nbt: Número de buses residentes en el terminal.
 Pcg: Potencia del cargador [KW].
 ncd: Número de cargas diferidas durante el tiempo de no servicio
 Ebt: Energía requerida para cargar un bus en el terminal en horas de no servicio [KWh]
 Eod: Energía de carga de oportunidad diaria de un bus durante visitas al terminal [KWh].
 nrt: Número de circuitos diarios que hace cada recorrido.
 nrd: Número de recorridos que salen del terminal.

A continuación (ver Tabla 66 a Tabla 73) se muestran algunos ejemplos que permiten establecer la magnitudes de la demanda de potencia y energía de cada terminal, considerando situaciones de monoservicio (1) y multiservicio (8), para distancias de recorrido en un sentido de 10 Km y 20 Km.

En los casos de carga plena 100%, la totalidad de la demanda se registra cuando los buses están estacionados en el terminal en horas de no servicio.

Por su parte si se emplea carga 80%-20% + carga de oportunidad, existen 2 situaciones:

- Para el recorrido de 10 Km en un sentido, la carga en el terminal en horas de no servicio y la de oportunidad durante las horas de servicio se reparte en una proporción de 2/3 es a 1/3 independientemente si se trata de un terminal monoservicio o multiservicio.
- Para el recorrido de 20 Km en un sentido, la carga en el terminal en horas de no servicio y la de oportunidad durante las horas de servicio se reparte en una proporción que depende del número de paradas por kilómetro. Cercana a 10% para 4 paradas, mientras que en el caso de 3 paradas la carga de oportunidad se acerca a 1/3 de la de carga plena.

Carga Plena 100%. Recorrido de 10 Km y 20 Km en un sentido

Tabla 66: Demanda para monoservicio. Recorrido 10 Km.

Capacidad de las baterías 300 KWh		Número de recorridos del terminal		Número de Buses en Concepción		1		10											
Recorrido 10 Km		Carga Plena 100%																	
Tiempo de carga [Horas]		3 Horas									4 Horas								
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de buses por terminal nbt	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Demandada por el terminal [KW] Pfts	Energía diaria demandada por el terminal [MWh] Efts	Potencia para carga de oportunidad [KW] Pcop	Número de circuitos diarios por recorrido nrd	Energía diaria para carga de oportunidad [MWh] Etop	Energía anual demandada [MWh]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Demandada por el terminal [KW] Pfts	Energía diaria demandada por el terminal [MWh] Efts	Potencia para carga de oportunidad [KW] Pcop	Número de circuitos diarios por recorrido nrd	Energía diaria para carga de oportunidad [MWh] Etop	Energía anual demandada [MWh]		
6	26	22	2	100	1300 1100	7,1 6,6	0 2	7 8	0,0 0,1	2579 2429	1	75	1950 1650	7 7	0 2	7 8	0,0 0,1	2579 2429	
10	14	12	2	100	700 600	3,8 3,6	0 2	7 8	0,0 0,1	1389 1325	1	75	1050 900	4 4	0 2	7 8	0,0 0,1	1389 1325	
12	12	10	2	100	600 500	3,3 3,0	0 2	7 8	0,0 0,1	1190 1104	1	75	900 750	3 3	0 2	7 8	0,0 0,1	1190 1104	
Carga de Oportunidad [KW]				0 2								0 2							
Total Paradas						80 60		80 60		80 60		80 60		80 60		80 60		80 60	
Paradas / Km						4 3		4 3		4 3		4 3		4 3		4 3		4 3	

Tabla 67: Demanda para monoservicio. Recorrido 20 Km.

Capacidad de las baterías 300 KWh		Número de recorridos del terminal		Número de Buses en Concepción		1		10											
Recorrido 20 Km		Carga Plena 100%																	
Tiempo de carga [Horas]		3 Horas									4 Horas								
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de buses por terminal nbt	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Demandada por el terminal [KW] Pfts	Energía diaria demandada por el terminal [MWh] Efts	Potencia para carga de oportunidad [KW] Pcop	Número de circuitos diarios por recorrido nrd	Energía diaria para carga de oportunidad [MWh] Etop	Energía anual demandada [MWh]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Demandada por el terminal [KW] Pfts	Energía diaria demandada por el terminal [MWh] Efts	Potencia para carga de oportunidad [KW] Pcop	Número de circuitos diarios por recorrido nrd	Energía diaria para carga de oportunidad [MWh] Etop	Energía anual demandada [MWh]		
6	48	42	2	150	3600 3150	14,4 15,5	0 0	4 5	0,0 0,0	5251 5651	1	112,5	5400 4725	14,4 15,5	0 0	4 5	0,0 0,0	5251 5651	
10	28	24	2	150	2100 1800	8,4 8,8	0 0	4 5	0,0 0,0	3063 3229	1	112,5	3150 2700	8,4 8,8	0 0	4 5	0,0 0,0	3063 3229	
12	24	20	2	150	1800 1500	7,2 7,4	0 0	4 5	0,0 0,0	2625 2691	1	112,5	2700 2250	7,2 7,4	0 0	4 5	0,0 0,0	2625 2691	
Carga de Oportunidad [KW]				0 0								0 0							
Total Paradas						80 60		80 60		80 60		80 60		80 60		80 60		80 60	
Paradas / Km						4 3		4 3		4 3		4 3		4 3		4 3		4 3	

Tabla 68: Demanda para multiservicio. Recorrido 10 Km.

Capacidad de las baterías 300 KWh		Número de recorridos del terminal		1		Número de Buses en Concepción		10		Carga Plena 100%																					
Recorrido 10 Km										Carga Plena 100%																					
Tiempo de carga [Horas]		3 Horas								4 Horas																					
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de buses por terminal nbt	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Demandada por el terminal [KW] Pfts	Energía diaria demandada por el terminal [MWh] Efts	Potencia para carga de oportunidad [KW] Pcop	Número de circuitos diarios por recorrido nrd	Energía diaria para carga de oportunidad [MWh] Etop	Energía anual demandada [MWh]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Demandada por el terminal [KW] Pfts	Energía diaria demandada por el terminal [MWh] Efts	Potencia para carga de oportunidad [KW] Pcop	Número de circuitos diarios por recorrido nrd	Energía diaria para carga de oportunidad [MWh] Etop	Energía anual demandada [MWh]														
6	208	176	2	100	10400	8800	56,5	52,8	0	15	7	8	0,0	0,4	20632	19429	1	75	15600	13200	57	53	0	15	7	8	0,0	0,4	20632	19429	
10	112	96	2	100	5600	4800	30,4	28,8	0	15	7	8	0,0	0,2	11110	10598	1	75	8400	7200	30	29	0	15	7	8	0,0	0,2	11110	10598	
12	96	80	2	100	4800	4000	26,1	24,0	0	15	7	8	0,0	0,2	9523	8832	1	75	7200	6000	26	24	0	15	7	8	0,0	0,2	9523	8832	
Carga de Oportunidad [KW]				0		2												0		2											
Total Paradas				80		60		80		60		80		60		80		60		80		60		80		60		80		60	
Paradas / Km				4		3		4		3		4		3		4		3		4		3		4		3		4		3	

Tabla 69: Demanda para multiservicio. Recorrido 20 Km.

Capacidad de las baterías 300 KWh		Número de recorridos del terminal		1		Número de Buses en Concepción		10		Carga Plena 100%																					
Recorrido 10 Km										Carga Plena 100%																					
Tiempo de carga [Horas]		3 Horas								4 Horas																					
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de buses por terminal nbt	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Demandada por el terminal [KW] Pfts	Energía diaria demandada por el terminal [MWh] Efts	Potencia para carga de oportunidad [KW] Pcop	Número de circuitos diarios por recorrido nrd	Energía diaria para carga de oportunidad [MWh] Etop	Energía anual demandada [MWh]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Demandada por el terminal [KW] Pfts	Energía diaria demandada por el terminal [MWh] Efts	Potencia para carga de oportunidad [KW] Pcop	Número de circuitos diarios por recorrido nrd	Energía diaria para carga de oportunidad [MWh] Etop	Energía anual demandada [MWh]														
6	384	336	2	150	28800	25200	115,1	123,9	0	0	4	5	0,0	0,0	42007	45208	1	112,5	43200	37800	115,1	123,9	0	0	4	5	0,0	0,0	42007	45208	
10	224	192	2	150	16800	14400	67,1	70,8	0	0	4	5	0,0	0,0	24504	25833	1	112,5	25200	21600	67,1	70,8	0	0	4	5	0,0	0,0	24504	25833	
12	192	160	2	150	14400	12000	57,5	59,0	0	0	4	5	0,0	0,0	21003	21528	1	112,5	21600	18000	57,5	59,0	0	0	4	5	0,0	0,0	21003	21528	
Carga de Oportunidad [KW]				0		0												0		0											
Total Paradas				80		60		80		60		80		60		80		60		80		60		80		60		80		60	
Paradas / Km				4		3		4		3		4		3		4		3		4		3		4		3		4		3	

Carga 80%-20%+ Carga de Oportunidad. Recorrido de 10 Km y 20 Km en un sentido

Tabla 70: Demanda para monoservicio. Recorrido 10 Km.

Capacidad de las baterías 300 KWh																		Número de recorridos del terminal				Número de Buses en Concepción											
																		1				10											
Recorrido 10 Km																		Carga Plena 100%															
Tiempo de carga [Horas]		3 Horas												4 Horas																			
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de buses por terminal nbt	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Demandada por el terminal [KW] Pfts	Energía diaria demandada por el terminal [MWh] Efts	Potencia para carga de oportunidad [KW] Pcop	Número de circuitos diarios por recorrido nrd	Energía diaria para carga de oportunidad [MWh] Etop	Energía anual demandada [MWh]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Demandada por el terminal [KW] Pfts	Energía diaria demandada por el terminal [MWh] Efts	Potencia para carga de oportunidad [KW] Pcop	Número de circuitos diarios por recorrido nrd	Energía diaria para carga de oportunidad [MWh] Etop	Energía anual demandada [MWh]																
6	26	22	2	80	1040	880	4,7	4,0	92	105	7	8	2,4	2,7	2579	2429	1	75	1950	1650	4,7	4,0	92	105	7	8	2	3	2579	2429			
10	14	12	2	80	560	480	2,5	2,2	92	105	7	8	1,3	1,5	1389	1325	1	75	1050	900	2,5	2,2	92	105	7	8	1	1	1389	1325			
12	12	10	2	80	480	400	2,2	1,8	92	105	7	8	1,1	1,2	1190	1104	1	75	900	750	2,2	1,8	92	105	7	8	1	1	1190	1104			
Carga de Oportunidad [KW]						92		105												92		105											
Total Paradas						80		60		80		60		80		60				80		60		80		60		80		60			
Paradas / Km						4		3		4		3		4		3				4		3		4		3		4		3			

Tabla 71: Demanda para monoservicio. Recorrido de 20 Km.

Capacidad de las baterías 300 KWh																		Número de recorridos del terminal				Número de Buses en Concepción											
																		1				10											
Recorrido 10 Km																		Carga Plena 100%															
Tiempo de carga [Horas]		3 Horas												4 Horas																			
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de buses por terminal nbt	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Demandada por el terminal [KW] Pfts	Energía diaria demandada por el terminal [MWh] Efts	Potencia para carga de oportunidad [KW] Pcop	Número de circuitos diarios por recorrido nrd	Energía diaria para carga de oportunidad [MWh] Etop	Energía anual demandada [MWh]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Potencia Demandada por el terminal [KW] Pfts	Energía diaria demandada por el terminal [MWh] Efts	Potencia para carga de oportunidad [KW] Pcop	Número de circuitos diarios por recorrido nrd	Energía diaria para carga de oportunidad [MWh] Etop	Energía anual demandada [MWh]																
6	48	42	2	120	2880	2520	13,0	11,3	59	148	4	5	1,4	4,1	5251	5651	1	75	3600	3150	13,0	11,3	92	105	4	5	1,4	4,1	5251	3229			
10	28	24	2	120	1680	1440	7,6	6,5	59	148	4	5	0,8	2,4	3063	3229	1	75	2100	1800	7,6	6,5	92	105	4	5	0,8	2,4	3063	1325			
12	24	20	2	120	1440	1200	6,5	5,4	59	148	4	5	0,7	2,0	2625	2691	1	75	1800	1500	6,5	5,4	92	105	4	5	0,7	2,0	2625	2691			
Carga de Oportunidad [KW]						59		148												92		105											
Total Paradas						80		60		80		60		80		60				80		60		80		60		80		60			
Paradas / Km						4		3		4		3		4		3				4		3		4		3		4		3			

Tabla 72: Demanda para multiservicio. Recorrido 10 Km.

Capacidad de las baterías 300 KWh		Número de recorridos del terminal Número de Buses en Concepción																	
		1 10																	
Recorrido 10 Km		Carga Plena 100%																	
Tiempo de carga [Horas]		3 Horas								4 Horas									
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de buses por terminal nbt	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Potencia Demandada por el terminal [kW] Pfts	Energía diaria demandada por el terminal [MWh] Efts	Potencia para carga de oportunidad [kW] Pcop	Número de circuitos diarios por recorrido nrd	Energía diaria para carga de oportunidad [MWh] Etop	Energía anual demandada [MWh]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Potencia Demandada por el terminal [kW] Pfts	Energía diaria demandada por el terminal [MWh] Efts	Potencia para carga de oportunidad [kW] Pcop	Número de circuitos diarios por recorrido nrd	Energía diaria para carga de oportunidad [MWh] Etop	Energía anual demandada [MWh]		
6	208	176	2	80	8320 7040	37,4 31,7	734 840	7 8	19,1 21,6	20632 19429	1	75	15600 13200	37,4 31,7	734 840	7 8	19 22	20632 19429	
10	112	96	2	80	4480 3840	20,2 17,3	734 840	7 8	10,3 11,8	11110 10598	1	75	8400 7200	20,2 17,3	734 840	7 8	10 12	11110 10598	
12	96	80	2	80	3840 3200	17,3 14,4	734 840	7 8	8,8 9,8	9523 2691	1	75	7200 6000	17,3 14,4	734 840	7 8	9 10	9523 8832	
Carga de Oportunidad [kW]				92	105							92	105						
Total Paradas				80	60	80	60	80	60	80	60	80	60	80	60	80	60	80	60
Paradas / Km				4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3

Tabla 73: Demanda para multiservicio. Recorrido 20 Km.

Capacidad de las baterías 300 KWh		Número de recorridos del terminal Número de Buses en Concepción																	
		8 10																	
Recorrido 10 Km		Carga Plena 100%																	
Tiempo de carga [Horas]		3 Horas								4 Horas									
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de buses por terminal nbt	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Potencia Demandada por el terminal [kW] Pfts	Energía diaria demandada por el terminal [MWh] Efts	Potencia para carga de oportunidad [kW] Pcop	Número de circuitos diarios por recorrido nrd	Energía diaria para carga de oportunidad [MWh] Etop	Energía anual demandada [MWh]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [kW]	Potencia Demandada por el terminal [kW] Pfts	Energía diaria demandada por el terminal [MWh] Efts	Potencia para carga de oportunidad [kW] Pcop	Número de circuitos diarios por recorrido nrd	Energía diaria para carga de oportunidad [MWh] Etop	Energía anual demandada [MWh]		
6	384	336	2	120	23040 20160	103,7 90,7	475 1184	4 5	11,4 33,1	42007 45208	1	75	28800 25200	103,7 90,7	734 840	4 5	11,4 33,1	42007 45208	
10	224	192	2	120	13440 11520	60,5 51,8	475 1184	4 5	6,7 18,9	24504 25833	1	75	16800 14400	60,5 51,8	734 840	4 5	6,7 18,9	24504 25833	
12	192	160	2	120	11520 9600	51,8 43,2	475 1184	4 5	5,7 15,8	21003 21528	1	75	14400 12000	51,8 43,2	734 840	4 5	5,7 15,8	21003 21528	
Carga de Oportunidad [kW]				59	148							92	105						
Total Paradas				80	60	80	60	80	60	80	60	80	60	80	60	80	60	80	60
Paradas / Km				4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3

13.2 Energía Limpia

Aun reconociendo que los ejemplos mostrados en la sección 13.1 corresponden a casos particulares, los resultados alcanzados permiten sacar algunas conclusiones de validez general, bajo el supuesto que se quiere emplear energía limpia para alimentar las flotas de buses.

Si se adopta la estrategia de carga plena 100%, la energía que demandarán los terminales será requerida en las horas en que el servicio está suspendido y todos los buses en el terminal. Según los supuestos adoptados, esto ocurriría en el tiempo disponible entre las 23:30 de un día y las 6:30 AM del día siguiente. Las implicancias de esta decisión es que la carga con energía limpia ocurre en horas de ausencia de generación fotovoltaica y de ausencia o a lo menos escasez eólica, quedando disponible sólo las plantas hidráulicas, situación que reduce la oferta a menos que los proveedores empleen sistemas de almacenamiento de energía. Ambas situaciones presionan el costo del suministro al alza en el corto plazo (uno o dos años). Con la reciente incorporación masiva de BESS en centrales generadoras PV y Eólicas para conformar plantas ERNC con capacidad de almacenamiento, la oferta de energía limpia existirá aún de noche.

Si por el contrario se usa la estrategia de carga 80%-20% + carga de oportunidad, la energía se demandará tanto en las horas en que el servicio está suspendido y todos los buses en el terminal, como en las horas en que los buses están prestando el servicio y reciben carga de oportunidad en el terminal. La magnitud relativa de la demanda de energía durante la noche comparada con la requerida en horas de día, según los resultados aparentemente depende de la longitud del recorrido, pero en estricto rigor la variable que explica la proporción es la capacidad de la batería del bus. Es así que la proporción es cercana a 2/3 a 1/3 (terminal no servicio, oportunidad en servicio) en el recorrido de 10 Km para buses con baterías de 300 KWh. Cuando el recorrido es de 20 Km, los buses que prestan el servicio usan baterías de 450 KWh y la necesidad de carga de oportunidad se reduce. En estas condiciones la proporción cambia a 80% versus 20% (terminal no servicio, oportunidad en servicio). Con todo, la oferta de energía limpia fuera de las horas de sol, estará garantizada por el desarrollo de plantas ERNC con capacidad de almacenamiento.

Un enfoque distinto es no emplear energía limpia, allí la forma de la curva de demanda de los terminales (horas de no servicio y oportunidad), tiene una importancia menor.

13.3 Instalación de paneles fotovoltaicos en el terminal

La inclusión de paneles fotovoltaicos en el diseño de un terminal de carga, ya sea para complementar la energía obtenida desde la red, o bien por adoptar una solución autosuficiente aislada del sistema, es una definición estratégica que implica evaluar conjuntamente dimensiones económicas, técnicas y de riesgo, las que por su naturaleza están fuera del alcance de este trabajo. Lo anterior no impide que al estudiarse el tema técnico se puedan establecer algunas recomendaciones como las que se resumen a continuación.

El empleo de paneles fotovoltaicos tiene sentido cuando se ha escogido la opción de carga nocturna + carga de oportunidad o simplemente de uso pleno de carga de oportunidad. Bajo estos supuestos se analizan los aspectos que se indican a continuación. Se supone el desarrollo de un mismo proyecto en distintas regiones del país, representadas por las ciudades de Antofagasta, La Serena, Santiago, Talca, Concepción, Temuco y Puerto Montt. La información empleada se extrajo del Explorador Solar de la Universidad de Chile.

Magnitud de Radiación y Variación Mensual:

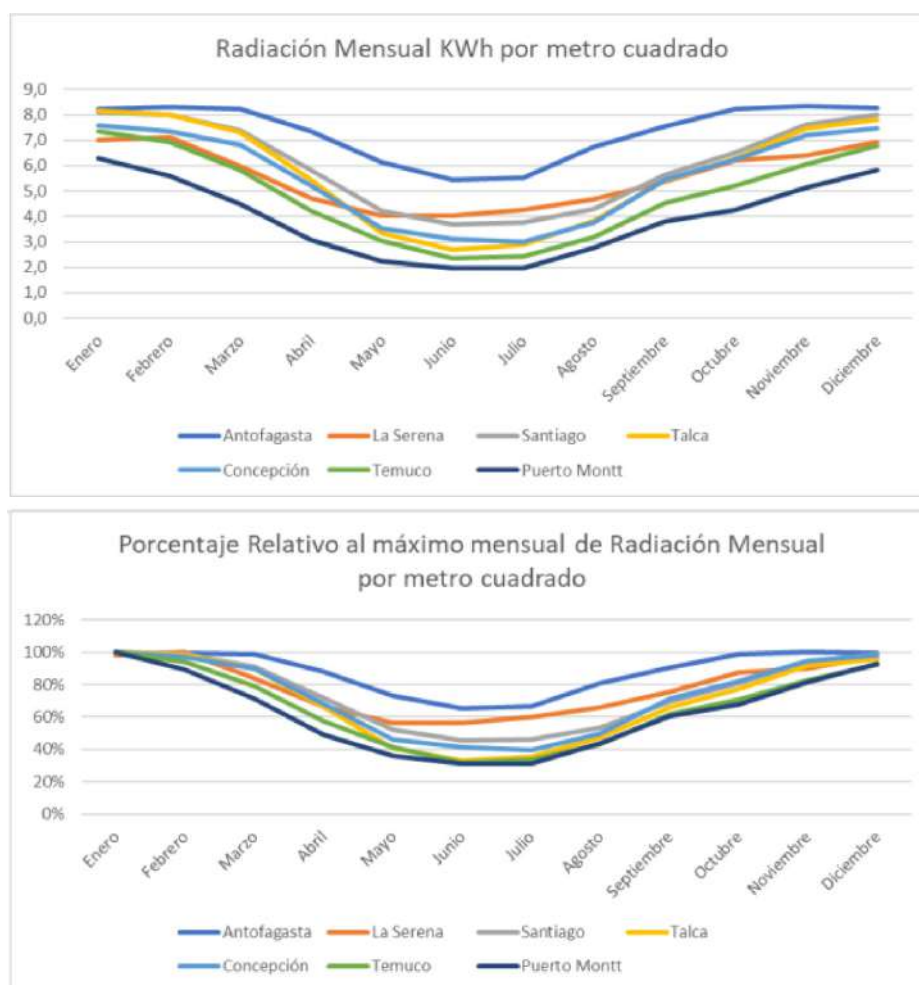
En su lado izquierdo, la Figura 12 muestra la radiación total mensual por metro cuadrado de las ciudades antes mencionadas. Se observa que la ciudad de mayor radiación es Antofagasta y la de menor es Puerto Montt, también se aprecia que en los meses de verano Antofagasta y Talca exhiben magnitudes comparables. Otro tanto, aunque a menor escala ocurre con La Serena, Santiago, Concepción y Temuco en el mismo período.

En el lado derecho de la misma figura, se muestra el porcentaje mensual de radiación relativo al máximo anual determinado para cada ciudad. Se aprecia en el gráfico lo siguiente:

- En Antofagasta la relación entre la radiación máxima y la mínima mensual, varía entre 100% y 70% de verano a invierno. Para La Serena la variación es de 100% a 60%.
- En Santiago la variación es entre 100% y 45%.
- Para Talca, Concepción, Temuco y Puerto Montt la variación es de 100% a 30%.

Se concluye con esta información que si se desarrolla un mismo proyecto en todas las ciudades estudiadas, en Antofagasta se requieren menos paneles solares. Otro aspecto y tal vez el más importante, es que el diseño debe ser apto para proveer la energía que se demanda en el mes de menor radiación. Es así como el menor sobre equipamiento ocurriría en Antofagasta y el máximo de Talca al sur.

Figura 12: Radiación Mensual por Metro Cuadrado en Ciudades



Distribución Horaria Mensual de la Radiación en Ciudades:

Para Antofagasta, Santiago y Puerto Montt, en la Figura 13 se muestra la distribución horaria de la radiación total mensual por metro cuadrado. En ella además se ve un rectángulo que representa las horas en que los buses prestan el servicio de transporte de pasajeros (6:30 a 23:30 en este estudio). Así mismo se aprecian dos líneas paralelas, rotuladas como 300 W y 500 W respectivamente, éstas representan la capacidad de captación de un panel fotovoltaico de 600 W y de 1000 W (la superficie de un panel es 2 m²).

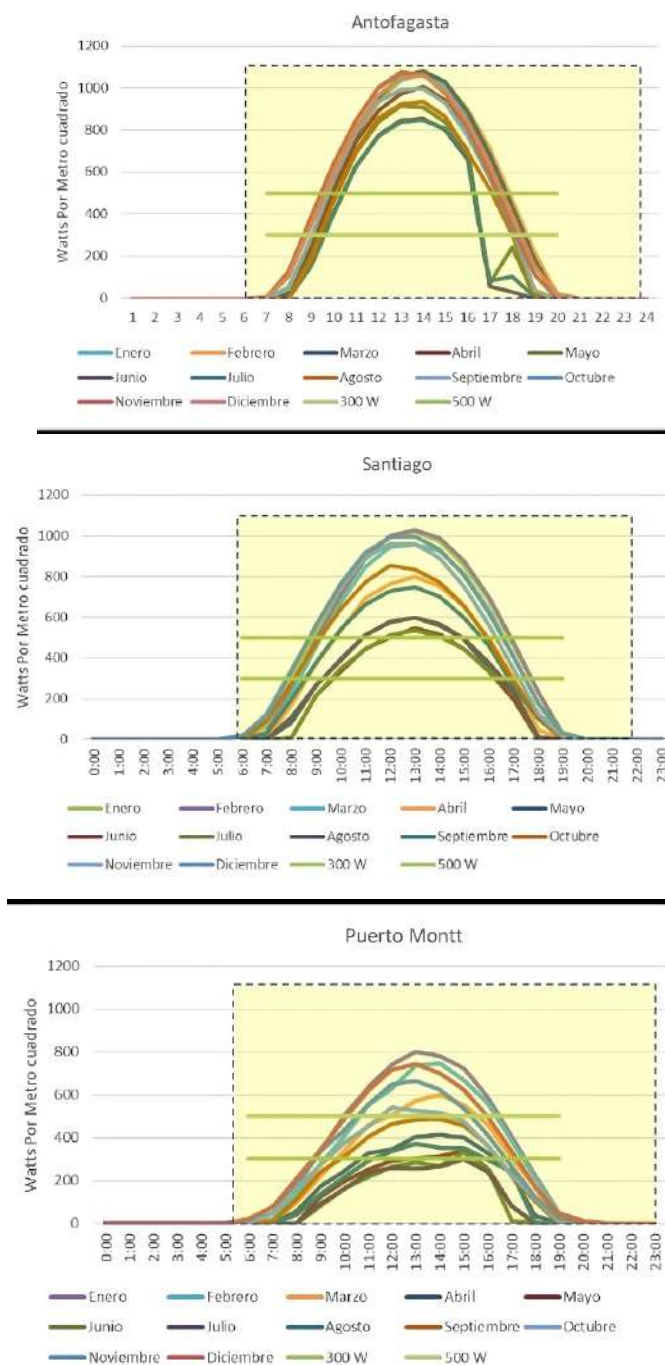
Las principales conclusiones que se pueden extraer de las figuras son las siguientes:

- Las horas de prestación del servicio de transporte público excede al tiempo en que hay radiación disponible. La radiación disponible entre las 6 y las 7 am, es poco densa para hacer una captación importante mediante paneles. Algo similar ocurre después de las 18 y 19 horas en invierno y verano respectivamente.
- Observando el cruce de las rectas 300 W y 500 W con las de distribución horaria, se aprecia que en Antofagasta la dispersión de la forma de la curva entre verano e invierno no es significativa, es importante en Santiago y severa en Puerto Montt. Esto define el número de horas en que se puede captar radiación de magnitud similar.
- El tercer aspecto es comparar verticalmente la forma de la curva de distribución horaria de radiación con las rectas 300 W y 500 W. Se concluye de este ejercicio lo siguiente:
 - En Antofagasta emplear paneles de 600 W o de 1000 W es eficiente durante todos los meses del año por unas 10 y 9 horas respectivamente.
 - En Santiago el panel más eficiente sería el de 600 W que permitiría captar energía entre 10 y 8 horas según se trate de invierno o verano.
 - En Puerto Montt no sería eficiente el uso de paneles solares como los estudiados para carga de oportunidad.

Respecto de diseños aislados de la red con alimentación exclusiva mediante paneles solares, cabe decir dos cosas:

- Cómo no es posible entregar carga de oportunidad en todas las horas de prestación del servicio, es necesario dejar algunos buses detenidos en el terminal sin prestar el servicio de recorrido regular junto con los demás hasta que sean requeridos. Existirá un conjunto cargado el día anterior para iniciar el circuito diario y otro cargado durante el día para concluir el ciclo diario una vez que no haya radiación disponible.
- Comparativamente con un diseño que obtenga energía de la red, el diseño con alimentación mediante paneles solares aislado de la red, este último requiere un mayor número de buses.

Figura 13: Distribución Horaria de Radiación Mensual en Antofagasta Santiago y Puerto Montt



13.4 Redundancia de infraestructura

Se dan a continuación algunos lineamientos generales respecto de la redundancia que debe tener la infraestructura eléctrica con que se suministra de energía eléctrica a los terminales de buses.

Para terminales que acogen multiservicios, lo más probable es que el diseño contemple una subestación eléctrica de bajada de alta a media tensión, redes de media tensión y transformadores de distribución. En este caso la componente crítica es justamente el transformador de poder, porque si llegara a fallar, este suceso compromete la operación del terminal durante el tiempo necesario para reemplazar la unidad fallada. Considerando que esos transformadores no son productos de stock y contar con un reemplazo puede tomar hasta un año, la solución pasa por tener un diseño redundante, esto es a lo menos dos transformadores de igual potencia, cada uno capaz de suplir la demanda del terminal.

Respecto de la red de media tensión, para asegurar que puedan alimentarse la red de cargadores, un diseño simple podría ser uno o más anillos en media tensión operados radiales, capaces de suministrar la demanda de todo el anillo desde un extremo. Esto aplicaría para terminales que tienen en la entrada tanto alimentación en alta tensión como en media tensión. Con todo una falla en la red de media tensión, dependiendo de su severidad, es reparable en horas o a lo más en un par de días.

Un último punto a comentar es el de los cargadores necesarios para carga de oportunidad en el terminal. Existen dos situaciones:

- Cuando la potencia del cargador de oportunidad es igual o menor que la de los necesarios para carga de la flota en reposo durante las horas de servicio suspendido. En este caso, son esos cargadores los que también se utilizarán para carga de oportunidad.
- Cuando la potencia del cargador de oportunidad es mayor que la de los necesarios para carga de la flota en reposo durante las horas de servicio suspendido. En este caso, es necesario agregar al diseño un conjunto de cargadores de oportunidad con la capacidad adecuada. Ha de tenerse en consideración que el número mínimo de esos cargadores es uno por cada recorrido, porque cargan secuencialmente los buses que arriban al terminal. Por razones de seguridad, ese número podría duplicarse o tomar un factor de redundancia mayor.

13.5 Seguridad de servicio

El concepto de seguridad de servicio en este documento se asocia con la disponibilidad de energía eléctrica en los momentos críticos. Tratándose de una flota de buses eléctricos, esto ocurre justamente cuando hay un corte de suministro en las horas en que la flota descansa en el terminal para cargar las baterías. Si no se puede realizar esa carga, la flota no podría prestar el servicio al día siguiente.

Existe más de una solución al problema, por ejemplo, contar con un sistema de almacenamiento de energía para emergencias, también un conjunto adicional de buses stand by con carga plena, o un grupo generador de emergencia. De estas tres, vistos los precios actuales, la más económica será la última a pesar de que la energía suministrada para emergencia no será de fuente limpia.



14

CONCLUSIONES

14. CONCLUSIONES

Habiéndose cumplido los objetivos planteados para este trabajo y analizado todos los temas que se definieron como necesarios para responder las preguntas fundamentales del tema, llega el momento de resumir las principales conclusiones obtenidas. Este capítulo está dedicado a eso.

14.1 Panorama Internacional

Como en casi todos los trabajos de investigación, lo primero fue entender la dinámica de transformación del transporte público urbano en el contexto internacional. En Estados Unidos, Europa, China y Latinoamérica, el reemplazo de buses diésel por cero emisiones es un proceso irreversible en marcha. En el corto plazo priman los buses eléctricos y se observan iniciativas para empleo de hidrógeno verde transformado a electricidad mediante celdas de combustible. Las políticas públicas de los países que impulsan el reemplazo, pueden resumirse en lo siguiente:

- En Estados Unidos no se aprecia una estrategia nacional pero cada estado si tiene una. La costa oeste en general, incluidos California, Oregón y Washington, representa el 41% de todos los buses cero emisiones del país. El mayor avance de la inserción de buses cero emisiones se aprecia en California, en donde al 2030, todos los vehículos vendidos deben ser cero emisiones. Se observa a nivel país, la participación de buses eléctricos (95%) y de buses a hidrógeno con celdas de combustible (5%).
- En Europa los factores que están impulsando la demanda de autobuses eléctricos son las estrictas regulaciones de emisiones, la alta dependencia de combustibles convencionales o no renovables, una fuerte ética ambiental y la creciente necesidad de integrar las energías renovables en una red. El Reglamento de Estándares de CO₂ de la Unión Europea establece que al 2035 el 100% de los autobuses deben ser cero emisiones. Las flotas de autobuses urbanos deberían hacer una transición en gran medida a la energía eléctrica para 2030, respaldadas por el objetivo propuesto de que el 75% de todos los autobuses vendidos en Europa sean eléctricos.

Los principales mercados europeos de buses eléctricos incluyen el Reino Unido (no UE), los Países Bajos, Noruega, Luxemburgo y Polonia. El Reino Unido y otros países de Europa Central están actualizando su flota con autobuses de bajas o cero emisiones y modernizando los autobuses antiguos con trenes motrices de bajas emisiones. Otros tantos países han tomado medidas para hacer la transición de su flota de transporte público a vehículos impulsados por combustible de hidrógeno para cumplir con sus propios objetivos de emisiones. Por ejemplo, en junio de 2020, Alemania adoptó la Estrategia Nacional del Hidrógeno después de la aprobación de su gabinete federal.

- China es sin duda líder mundial en transporte público eléctrico, cerca del 90% de los buses eléctricos en servicio del orbe están en ese país. En 2018, Shenzhen se convirtió en la primera ciudad del mundo en tener una flota de autobuses públicos totalmente eléctricos. Este rápido avance en la electrificación de la flota china fue posible gracias a un fuerte apoyo gubernamental, como ocurrió, por ejemplo, en Shenzhen. Otro punto claro que contribuye al dominio de China en el sector de los vehículos eléctricos (VE) es su estrategia de proximidad geográfica. La región de Asia-Pacífico, por ejemplo, fue con diferencia el mayor mercado de autobuses eléctricos en 2022 (105.021 unidades), al igual que otros mercados adyacentes, como Corea del Sur, donde los autobuses chinos representaron aproximadamente la mitad del mercado. Además, a partir de 2022, el gigante chino BYD produciría aproximadamente el 70% de los autobuses eléctricos de Japón.

- En Latinoamérica, el reemplazo de buses diésel por eléctricos se observaba en muchos países, no obstante no se puede decir lo mismo respecto de la existencia de políticas públicas concretas que lo impulse y en consecuencia el progreso de la transformación difiere entre una nación y otra. Son excepciones, lo observado en Colombia y Chile, en donde está explicitada la política pública y la estrategia para producir el cambio. Actualmente Chile es el país con más buses eléctricos en la región seguido por Colombia. En ambos casos, los buses se concentran en las ciudades capitales.

14.2 La Situación en Chile

Tempranamente Chile se ha autoimpuesto la meta de ser carbono neutral al año 2050, existiendo plena conciencia que una parte importante de las emisiones de CO₂ proviene del transporte terrestre y en particular del transporte público urbano.

Estrategia Nacional de Electromovilidad (EEM)

En el año 2017 fue promulgada la primera versión de la Estrategia Nacional de Electromovilidad (EEM), que reconoce al Transporte público como motor de desarrollo estableciendo dos metas de largo plazo: alcanzar el 40% de vehículos particulares y 100% del transporte público urbano eléctricos al 2050. La revisión 2021 de la Estrategia de Electromovilidad sumó nuevas metas para el mediano y largo plazo. Las más relevantes son: el 100% de las nuevas incorporaciones al transporte público urbano serán vehículos cero emisiones al año 2035, el 100% de ventas de vehículos livianos y medianos sean cero emisiones al año 2035 y el 100% de las ventas de vehículos para el transporte de pasajeros interurbano y transporte terrestre de carga sean cero emisiones al año 2045.

Composición de flotas de buses, licitaciones y servicios en marcha

El sistema de transporte público RED de la región metropolitana cuenta con 6.700 buses, 2.000 de los cuales son eléctricos y la licitación pública de uso de vías 2023 busca proveer otros 1.200. Haciendo un total de 3.200 buses eléctricos en la RM.

Actualmente en regiones el número de buses diésel es de 11.100 aproximadamente y son de menor tamaño que los existentes en la capital. La mayoría son autobuses del tipo Livianos de clase A. Hoy en día no existe aún un sistema de transporte público con las características del de la RM. No obstante en la revisión 2021 de la EEM si se detallan algunas metas por región, su estado se explicita en la tabla mostrada a continuación.

Región	Proyecto	Estado
Atofagasta	Despliegue de 40 buses eléctricos para operar un corredor de aproximadamente 20 kilómetros de longitud por sentido entre Chimba Alto y Campus Coloso	En marcha desde 3 de Diciembre 2023.
Atacama	Implementación de 12 nuevos servicios de buses eléctricos en Copiapó. Se contempla una flota de al menos 100 buses eléctricos, con dos centros de carga situados en Cuesta Cardones y Paipote.	Operación para segundo semestre de 2025.
Coquimbo	Dos nuevos servicios de transporte público eléctrico que conectarán Coquimbo y La Serena, con una flota prevista de 42 buses eléctricos.	Operación para segundo semestre 2024.
Valparaíso	Se incorporará un total de 44 buses eléctricos para entregar 4 nuevos servicios.	Previsto para segundo semestre 2024
O'Higgins	En Rancagua, 10 buses eléctricos en reemplazo de buses antiguos (Plan Renueva tu Micro 2022)	En servicio desde el 14 de Mayo de 2024.
Bío Bío	En colaboración con EFE SUR, se ha propuesto un proyecto de integración con Biotrén en el gran Concepción. Este proyecto incluirá 25 buses eléctricos y dos nuevos servicios que cubrirán un total de 45 kilómetros, vinculando eficazmente los nodos de transporte existentes. Al 2030 contar con 200 nuevos buses eléctricos.	25 buses adquiridos por EFE para complementar servicio Biotrén a entrar en servicio en 2025.

En base a lo anterior, según el MTT, Chile se ha ido consolidando como el segundo país a nivel mundial con la mayor flota de buses eléctricos después de China.

14.3 Modelo de Dimensionamiento

Medir el impacto sobre el sistema eléctrico que produce la electrificación del transporte público urbano implica cuantificar la demanda de potencia y energía de las nuevas flotas de buses eléctricos, y antes que eso, determinar el número de buses que componen un recorrido y la demanda eléctrica asociada a su operación diaria. Para lograr lo anterior, en este trabajo se ha optado por construir un modelo que entregue los resultados necesarios.

Con el propósito de establecer el modelo se realizaron las 2 actividades que se resumen enseguida y con ellas se alimentó el modelo que se explicita a continuación.

Análisis de recorridos actuales y condiciones técnicas de licitaciones

Con el propósito de entender cuáles son las características principales del servicio de transporte público urbano, se optó estudiar los recorridos de la Red Bus de la Región Metropolitana (RM), los informes de gestión anual del DTPM 2022⁸, las condiciones técnicas de prestación del servicio para la Licitación Pública de Uso de Vías 2023⁹ y los servicios de transporte mediante buses eléctricos ya en marcha tanto en la RM como en regiones¹⁰.

La investigación permitió concluir que los recorridos de Red Bus de la RM, tienen longitudes en un sentido desde 10 Km a 20 Km en un sentido (circuitos de 20 Km a 40 Km), con un número de 3 a 4 paradas por kilómetro y una velocidad media de circulación no superior a 20 Km por hora. Viendo las características técnicas de los buses eléctricos que actualmente prestan servicio se pudo apreciar que poseen baterías de hasta 300 KWh y cuentan con aire acondicionado. Actualmente en regiones existen servicios mono recorrido (un terminal) y en la RM multi recorridos que son abastecidos de energía en un terminal compartido.

Buses eléctricos y tecnologías complementarias disponibles en el mercado

Escogiendo a China como proveedor de buses eléctricos para transporte público urbano, se estudiaron sus principales características, tales como dimensiones físicas, potencia motriz, velocidad, servicios de comodidad, rendimiento y requerimientos de energía.

También se analizaron las características de las baterías de litio, los ciclos y tipos de carga que se les aplican. Así mismo se estudiaron los tipos de cargadores a la venta en el mercado (detalles en el capítulo 7). La conclusión de este análisis es que lo más adecuado es emplear cargas lentas y para optimizar la vida útil de las baterías, administrar la carga entre 80% y 20% de la capacidad, aplicando recargas de oportunidad.

Características del modelo de dimensionamiento

Se desarrolló un modelo de transporte simple que es capaz de determinar el tiempo de viaje del bus en un sentido, el tiempo acumulado de detenciones en las paradas, el tiempo total de recorrido en un sentido y el número de buses que presta el servicio en los dos sentidos de recorrido.

El modelo considera la existencia de un recorrido entre 2 extremos. La distancia entre el extremo 1 y el extremo 2, es igual a la distancia que existe entre el extremo 2 y el extremo 1. El número de paradas por kilómetro de recorrido en cada sentido es el mismo. El tiempo de detención es el mismo en todas las paradas. Cada bus tiene un tiempo de detención obligada en uno de los extremos. La velocidad con que se desplaza el bus es constante. La frecuencia de pasada de cada bus por una parada es la misma durante todas las horas de prestación del servicio.

⁸ Informe de gestión 2022 del DTPM (Ver apartado 12.2.1 en el capítulo 12 de este informe). DTPM: Directorio del Transporte Público Metropolitano, dependiente del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones.

⁹ Detalles en sección 6.1.2 del capítulo 6 de este informe.

¹⁰ Detalles en la sección 6.2 del capítulo 6 de este informe.

Los datos de entrada son los siguientes:

- Distancia entre los extremos [Km].
- Número de horas diarias en que se presta el servicio [Horas]
- Cantidad de Terminales del recorrido [1 o 2].
- Velocidad media del bus [Km/h].
- Número de paradas por kilómetro de recorrido.
- Frecuencia de paso de un bus en una parada [Min].
- Tiempo de detención del bus en una parada [Min].
- Tiempo de detención del bus en el extremo 1 [Min].
- Capacidad de la batería KWh.
- Consumo unitario en marcha [KWh/Km].
- Consumo de energía para aire acondicionado [KWh].
- Tiempo de carga de las baterías en el terminal [Horas].

El modelo tiene tres salidas principales:

Dimensionamiento de la flota de buses para un recorrido: Para una distancia de recorrido fija, tomando cómo parámetros, el número de paradas por kilómetro y la frecuencia de pasada del bus por una parada, el modelo entrega:

- El número total de buses del recorrido y la cantidad de recorridos diarios para cumplir con las horas de servicio.
- La energía demandada por bus y la necesidad de energía adicional si la capacidad de la batería es insuficiente.
- La potencia del cargador y la potencia del terminal empleando como parámetro el tiempo de carga de la batería.
- En esta etapa el modelo también analiza cómo cambian los resultados si el recorrido cuenta con uno o dos terminales de carga.

Potencia demandada por los terminales: Esta salida provee resultados para analizar lo que ocurre cuando se decide en horas del servicio suspendido, la modalidad de carga plena de las baterías a 100%, o se adopta por un uso de carga entre 80% - 20% de la capacidad admitiendo carga de oportunidad durante las horas de prestación del servicio. Las salidas entre caso son 3:

- Para cada modalidad de carga en el terminal y en función del número de horas de carga de la batería, entrega la potencia nominal del cargador y la demanda del terminal.
- La demanda agregada y el número de terminales de carga, suponiendo en servicio todos los buses eléctricos de la RM simultáneamente.
- Parametrizando el número de buses para simular terminales multi recorrido, entrega el número de terminales y la potencia que estos demandan.

Forma de la curva de carga del terminal: Tomando como parámetro el número de recorridos de un terminal multiservicio para la modalidad de carga 100% y carga 80%-20% con carga de oportunidad, esta salida permite determinar:

- El número de buses por terminal.
- A nivel diario la potencia del terminal y la energía demandada en horas de no servicio.
- La potencia y la energía demandada para carga de oportunidad.
- El total anual de energía demandada.

14.4 Resultados de dimensionamiento

Basándose en la evidencia obtenida en el análisis de los servicios existentes estudiados en el capítulo 6, se desarrollaron 3 ejemplos representativos de dimensionamiento de flotas de buses. Se consideraron distintas distancias de recorrido en un sentido (10, 20 y 30 Km) y frecuencia de paso por parada (entre 2 y 15 minutos). El número de paradas por kilómetro varía entre 1 y 4. El tiempo de detención en cada parada es de 1 minuto, el de detención en un extremo es 10 minutos y la velocidad del bus es de 20 Km/hora. El tiempo total de prestación de servicio son 17 horas al día. Se estudió un caso con un terminal de carga en un extremo y otro caso con un terminal en cada extremo del recorrido.

Los resultados mostraron lo siguiente:

Número de terminales de carga: Se analizaron 2 casos, un solo terminal para todo el recorrido y luego otra opción con un terminal de carga en cada extremo del recorrido. El número de buses que compone la flota es el mismo, pero existe una diferencia en el número de recorridos diarios que esta realiza. Existe un recorrido más en el caso de 1 sólo terminal de carga, porque se ha supuesto que en ambos casos el horario de prestación del servicio en cada sentido de viaje es el mismo, de este modo en el caso 1 es necesario enviar un conjunto de buses al extremo lejano¹¹ previo a la apertura del servicio y lo mismo ocurre cuando termina su horario. Allí los buses del extremo lejano deben retornar al terminal de carga. Esos traslados ocurren con buses fuera de servicio.

Distancia diaria recorrida: Para recorrido de 10 Km en un sentido, la distancia diaria recorrida fluctúa entre 140 – 240 Km (1 terminal) y entre 120-220 Km (2 terminales). En el caso de 20 Km, la distancia diaria recorrida fluctúa entre 160 – 280 Km (1 terminal) y entre 120-240 m (2 terminales). Cuando el recorrido es de 30 Km, la distancia diaria recorrida fluctúa entre 180 – 300 Km (1 terminal) y entre 120-240 m (2 terminales).

Número de buses: El número de buses para sostener un recorrido aparentemente depende en primer lugar de la extensión del recorrido, pero también está fuertemente condicionado por la frecuencia de pasada de un bus por cada parada para atención de pasajeros, el número de paradas por kilómetro y el tiempo de detención en ella. (ver Tabla 74). En verde se muestran las frecuencias más usuales.

¹¹ El número de buses a desplazar fuera de recorrido al extremo remoto es el necesario para establecer un circuito continuo de tránsito entre los extremos. Por ejemplo, para frecuencias de pasada de 6, 10, 12 y 15 minutos es de 10, 6, 5, y 4 buses respectivamente.

Tabla 74: Número de buses en función de distancia del recorrido, frecuencia de pasada y número de paradas por kilómetro

Distancia Recorrido	10 km				20 km				30 km			
	N° de paradas por Kilómetro				N° de paradas por Kilómetro				N° de paradas por Kilómetro			
Frec. de Pasada bus [Min]	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
2	78	68	58	48	148	128	108	88	109	94	79	64
3	52	46	38	32	98	86	72	58	73	63	53	43
4	38	34	28	24	74	64	54	44	54	47	39	32
5	30	26	22	18	58	50	42	34	43	37	31	25
6	26	22	18	16	48	42	36	28	36	31	26	21
7	22	18	16	14	42	36	30	24	31	27	22	18
8	18	16	14	12	36	32	26	22	27	23	19	16
9	16	14	12	10	32	28	24	18	24	21	17	14
10	14	12	10	8	28	24	20	16	21	18	15	12
11	14	12	10	8	26	22	18	16	19	17	14	11
12	12	10	8	8	24	20	18	14	18	15	13	10
13	12	10	8	6	22	18	16	12	16	14	12	9
14	10	8	8	6	20	18	14	12	15	13	11	9
15	10	8	6	6	18	16	14	10	14	12	10	8

Cantidad de recorridos diarios de un bus: Depende principalmente de la extensión del recorrido, porque el viaje a velocidad constante define el tiempo de viaje. La disminución del número de paradas por kilómetro permite realizar más recorridos durante las horas de servicio. Esto último colabora a reducir el número de buses necesarios (ver Tabla 75). La frecuencia de pasada por una parada no afecta al número de recorridos de un bus. En azul se muestran las frecuencias más usuales.

Tabla 75: Cantidad de recorridos diarios de un bus en función de distancia del recorrido, frecuencia de pasada y número de paradas por kilómetro

Distancia Recorrido	10 km				20 km				30 km			
	N° de paradas por Kilómetro				N° de paradas por Kilómetro				N° de paradas por Kilómetro			
Frec. de Pasada bus [Min]	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
2	7	8	10	12	4	5	5	7	3	3	4	5
3	7	8	10	12	4	5	5	7	3	3	4	5
4	7	8	10	12	4	5	5	7	3	3	4	5
5	7	8	10	12	4	5	5	7	3	3	4	5
6	7	8	10	12	4	5	5	7	3	3	4	5
7	7	8	10	12	4	5	5	7	3	3	4	5
8	7	8	10	12	4	5	5	7	3	3	4	5
9	7	8	10	12	4	5	5	7	3	3	4	5
10	7	8	10	12	4	5	5	7	3	3	4	5
11	7	8	10	12	4	5	5	7	3	3	4	5
12	7	8	10	12	4	5	5	7	3	3	4	5
13	7	8	10	12	4	5	5	7	3	3	4	5
14	7	8	10	12	4	5	5	7	3	3	4	5
15	7	8	10	12	4	5	5	7	3	3	4	5

14.5 Requerimientos de energía

Considerando los supuestos explicitados en el capítulo 10 de este estudio¹², teniendo presente que para una misma prestación de servicio la demanda de energía es única, se estudiaron las 2 estrategias de carga que se indican, con el propósito de verificar la suficiencia de la capacidad de la batería basal (300 KWh):

- Carga plena de la batería a 100% sin carga de oportunidad
- Carga de la batería entre 80% - 20% con carga de oportunidad

14.5.1 Carga plena de la batería a 100% sin carga de oportunidad

La Tabla 76 muestra el resultado del análisis de la suficiencia de capacidad de la batería de un bus, en función de la distancia del recorrido. Se resumen en ella las conclusiones de los casos de uso de un y dos terminales de carga.

Caso de 1 Terminal:

- Para recorridos de 10 y 20 Km en un sentido con 4 paradas por kilómetro, la batería de 300 KWh de capacidad es adecuada, al disminuir el número de paradas se requiere una capacidad mayor.
- Para recorridos de 30 Km en un sentido, la batería de 300 KWh de capacidad es insuficiente independiente del número de paradas. Se requiere una capacidad mayor.
- Emplear una carga de oportunidad ligera para mantener la capacidad de la batería en 300 KWh, es aplicable para recorridos de 10 y 20 Km. Para el caso de 30 Km, la batería es inadecuada porque se requeriría un cargador de oportunidad de mayor tamaño que el necesario para carga lenta.

Caso de 2 Terminales:

- Para recorridos de 10, 20 y 30 Km en un sentido con 4 paradas por kilómetro, la batería de 300 KWh de capacidad es adecuada, al disminuir el número de paradas se requiere una capacidad mayor.
- Emplear una carga de oportunidad ligera para mantener la capacidad de la batería en 300 KWh, es aplicable para recorridos de 10 y 20 Km. Para el caso de 30 Km, la batería es inadecuada porque se requeriría un cargador de oportunidad de mayor tamaño que el necesario para carga lenta.

Con todo, la variable clave para que la capacidad de 300 KWh de las baterías sea suficiente es el rendimiento del bus en marcha, (en el caso base supuesto igual a 1,5 KWh/km). Para los casos de 1 o 2 terminales, si el rendimiento es de 0,95, 0,83 y 0,75 KWh/Km para distancias de recorrido de 10, 20 y 30 Km en un sentido respectivamente. Los dos primeros valores se pueden encontrar en la oferta de buses eléctricos, no así la tercera. En esta última situación se podría recurrir a una carga de oportunidad ligera y mantener la capacidad de la batería.

¹² Para facilitar la discusión de los resultados se destacan previamente los supuestos principales.

- Los recorridos entre extremos estudiados tienen una longitud de 10, 20 y 30 Km respectivamente.
- El número de paradas por kilómetro en un mismo sentido de viaje analizadas escogidas son 4, 3, 2 y 1. Los 2 valores más altos están en línea con lo que ha definido el Ministerio de Transporte en las licitaciones. El tiempo de detención en cada parada, es de 1 minuto.
- La velocidad media de los buses es 20 Km/hora.
- Se estudiaron 2 casos para el terminal de carga: caso 1: 1 terminal para el recorrido y caso 2: 1 terminal en cada extremo del recorrido.
- Se supone una detención obligada de 10 minutos en sólo uno de los terminales de carga, independientemente del caso estudiado, 1 o 2 terminales de carga. El propósito de esta detención es permitir el reemplazo de conductor cuando corresponda y admitir cargas de oportunidad.
- La prestación del servicio se otorga durante 17 horas al día.
- El caso base se estudia para buses con baterías de 300 KWh de capacidad. El rendimiento promedio de los buses es de 1,5 KWh por kilómetro.
- Todos los buses tienen aire acondicionado frío/calor obtenido mediante tecnología inverter. El acondicionamiento de aire está en servicio tanto si el bus está en movimiento o si está detenido. El consumo de energía diario es de 70 KWh.

Tabla 76: Análisis de suficiencia de capacidad de batería en función de la distancia del recorrido.
Estrategia de carga plena 100%.

	Caso 1: Un Terminal de Carga		Caso 2: Dos Terminales de Carga	
Recorrido de 10 Kilómetros	La energía de la batería de 300 KWh es insuficiente cuando el número de paradas por kilómetro es inferior a 4. La capacidad de la batería que resuelve el problema en función del número de paradas por kilómetro: 3, 2, 1, es de 350, 400 y 450 KWh.	Otra opción es mantener el tipo de batería y recurrir a una carga de oportunidad ligera. Si se procede de este modo, la carga de oportunidad en cada detención en el terminal estará en el rango entre 4,2 y 8,9 KWh.	La energía de la batería de 300 KWh es insuficiente cuando el número de paradas por kilómetro es inferior a 3. La capacidad de la batería que resuelve el problema en función del número de paradas por kilómetro: 2 y 1, es de 350 y 400 KWh.	Otra opción es mantener el tipo de batería y recurrir a una carga de oportunidad ligera. en las magnitudes diarias que muestra la Tabla 16. Si se procede de este modo, la carga de oportunidad en cada detención en el terminal estará entre 4,2 y 8,9 KWh.
Recorrido de 20 Kilómetros	La energía de la batería de 300 KWh es insuficiente cuando el número de paradas por kilómetro es inferior a 4. La capacidad de la batería que resuelve el problema en función del número de paradas por kilómetro: 3, 2, 1, es de 400, 400 y 500 KWh.	Otra opción es mantener el tipo de batería y recurrir a una carga de oportunidad ligera. Si se procede de este modo, la carga de oportunidad en cada detención en el terminal estará en el rango entre 11,6 y 27,1 KWh.	La energía de la batería de 300 KWh es insuficiente cuando el número de paradas por kilómetro es igual a 3 o igual a 1. La capacidad de la batería que resuelve el problema en función del número de paradas por kilómetro: 3 y 1, es de 350 y 450 KWh.	Otra opción es Otra opción es mantener el tipo de batería y recurrir a una carga de oportunidad ligera. Si se procede de este modo, la carga de oportunidad en cada detención en el terminal estará en el rango entre 2,3 y 21,7 KWh.
Recorrido de 30 Kilómetros	La energía de la batería de 300 KWh es insuficiente para todo el rango de paradas por kilómetro. La capacidad de la batería que resuelve el problema en función del número de paradas por kilómetro: 4, 3, 2, 1, es de 350, 350, 450 y 550 KWh.	Otra opción es mantener el tipo de batería y recurrir a una carga de oportunidad ligera. Si se procede de este modo, la carga de oportunidad en cada detención en el terminal estará en el rango entre 7 y 43,8 KWh. La potencia de carga de oportunidad en función del número de paradas por kilómetro fluctúa entre 42, 186 y 262 KW, estos 2 últimas magnitudes superarían la capacidad de los cargadores de energía y desde este punto de vista el uso de baterías de 300 KWh ya no es atractivo.	La energía de la batería de 300 KWh es insuficiente cuando el número de paradas por kilómetro es inferior a 3. La capacidad de la batería que resuelve el problema en función del número de paradas por kilómetro: 2 y 1, es de 350 y 450 KWh.	Otra opción es mantener el tipo de batería y recurrir a una carga de oportunidad ligera. Si se procede de este modo, la carga de oportunidad en cada detención en el terminal estará en el rango entre 11,3 y 32,3 KWh. La potencia de carga de oportunidad en función del número de paradas por kilómetro fluctúa entre 68 y 193 KW, esta última magnitud superaría la capacidad de los cargadores de energía y desde este punto de vista el uso de baterías de 300 KWh para un recorrido de 30 Km con detención por kilómetro ya no es atractiva.

14.5.2 Carga de la batería entre 80% a 20% con carga de oportunidad

El supuesto de este análisis es que las baterías de 300 KWh se cargan a un 80 % de su capacidad en el terminal de carga durante la noche (240 KWh) y se mantiene una carga mínima de 20% (60 KWh). Así la energía inicial disponible para circular en cada bus es 180 KWh. En el ciclo diario la recarga de energía debe abastecer hasta 180 KWh mediante cargas de oportunidad. La carga de oportunidad ocurre cada vez que el bus visita el terminal de carga. La energía debe suministrarse en un lapso de 10 minutos.

Por la modalidad del ciclo de carga, el uso de la batería es menos restrictivo. Cómo se está recurriendo a una carga de oportunidad en el terminal, mantener un nivel de energía adecuado es posible, no obstante eso se consigue empleando un cargador de mayor potencia, entonces lo importante es verificar la potencia requerida para llevarla a cabo. Los resultados mostraron lo siguiente:

Caso de 1 Terminal:

- Para recorridos de 10 Km en un sentido, la carga de oportunidad por cada recorrido es de 15,3, 17,5, 20,9 y 22,5 KWh, dependiendo si el recorrido tiene 4, 3, 2 o 1 paradas por kilómetro.
- Para recorridos de 20 Km en un sentido, la carga de oportunidad por cada recorrido es de 39,9, 47,2, 44,4 y 51,7 KWh, dependiendo si el recorrido tiene 4, 3, 2 o 1 paradas por kilómetro. El problema para aportar estas magnitudes es que se requiere para ello de cargadores de oportunidad con capacidades que superan a los necesarios para carga lenta en horas de no servicio.
- Para recorridos de 30 Km en un sentido, la carga de oportunidad por cada recorrido es de 74,5, 70,4, 81,3 y 84,7 KWh, dependiendo si el recorrido tiene 4, 3, 2 o 1 paradas por kilómetro. El problema para aportar estas magnitudes es que se requiere para ello de cargadores de oportunidad con capacidades que superan largamente a los necesarios para carga lenta en horas de no servicio.

Caso de 2 Terminales:

- Para recorridos de 10 Km en un sentido, la carga de oportunidad por cada recorrido es de 12,4, 15,4, 19,7 y 21,8 KWh, dependiendo si el recorrido tiene 4, 3, 2 o 1 paradas por kilómetro.
- Para recorridos de 20 Km en un sentido, la carga de oportunidad por cada recorrido es de 29,9, 42,9, 39,2 y 50,0 KWh, dependiendo si el recorrido tiene 4, 3, 2 o 1 paradas por kilómetro. El problema para aportar estas magnitudes es que se requiere para ello de cargadores de oportunidad con capacidades que superan a los necesarios para carga lenta en horas de no servicio.
- Para recorridos de 30 Km en un sentido, la carga de oportunidad por cada recorrido es de 59,0, 50,8, 76,9 y 22,9 KWh, dependiendo si el recorrido tiene 4, 3, 2 o 1 paradas por kilómetro. El problema para aportar estas magnitudes es que se requiere para ello de cargadores de oportunidad con capacidades que superan largamente a los necesarios para carga lenta en horas de no servicio.

Manteniendo el rendimiento del bus en marcha en 1,5 KWh/km, el emplear baterías con capacidad de 450 y 550 KWh, es aplicable para recorridos de 20 y 30 Km. El cargador de oportunidad sería el mismo que el de carga lenta en horas de no servicio.

Para mantener la capacidad de las baterías en 300 KWh, una alternativa es escoger buses con mayor rendimiento. Es así con magnitudes de 0,85 y 0,7 KWh/Km para recorridos de 20 y 30 Km respectivamente, es posible mantener el proceso. No obstante es difícil encontrar ofertas de buses con rendimiento de 0,7 KWh/Km, de modo que se cree necesario emplear baterías de mayor capacidad para recorridos de 30 Km.

14.6 Infraestructura de Carga Terminales Monoservicio

Empleando los supuestos explicitados en el capítulo 10 de este estudio¹³ y teniendo presente que para una misma prestación de servicio la demanda de energía es única, se estudió el dimensionamiento de potencia para los terminales de carga. Como se verá, una variable relevante para establecer la demanda agregada de potencia del terminal es el tiempo de carga de las baterías en las horas de no servicio. Para explicitar las conclusiones en forma resumida, en esta sección se ha restringido la presentación de resultados a las frecuencias de pasada de un bus en cada parada cada 6, 10, y 12 minutos, que corresponden a 10, 6 y 5 buses por hora. El detalle del análisis completo se muestra en el capítulo 11.

Carga Plena 100%: Para la flota de un terminal monoservicio se muestran en la Tabla 77. Cuando el tiempo de carga es de 3 horas, se admiten 2 cargas diferidas con un mismo cargador durante las horas de no servicio (7 horas según los supuestos). Esto implica cargadores de mayor potencia que los escogidos para carga en 4 horas, pero la demanda agregada del terminal se reduce considerablemente.

Tabla 77: Potencia Nominal de Terminal Monoservicio. Carga plena 100%

Tiempo de carga [Horas]				3			4					
Recorrido en un sentido [Km]	Capacidad de la batería [KWh]	Frec. Pasada bus en parada [Min]	N° Buses por Terminal Monoservicio		Máximo de cargas diferidas	Potencia del Cargador [KW]	Potencia Nominal Del Terminal [MW]		Máximo de cargas diferidas	Potencia del Cargador [KW]	Potencia Nominal Del Terminal [MW]	
10	300	6	26	22	2	100,00	1300	1100	1	75	1950	1650
		10	14	12	2	100,00	700	600	1	75	1050	900
		12	12	10	2	100,00	600	500	1	75	900	750
20	450	6	48	42	2	150,00	3600	3150	1	112,5	5400	4725
		10	28	24	2	150,00	2100	1800	1	112,5	3150	2700
		12	24	20	2	150,00	1800	1500	1	112,5	2700	2250
20	450	6	72	62	2	150,00	5400	4650	1	112,5	8100	6975
		10	42	36	2	150,00	3150	2700	1	112,5	4725	4050
		12	36	30	2	150,00	2700	2250	1	112,5	4050	3375
Número de paradas por Km			4	3			4	3			4	3

¹³ Para facilitar la discusión de los resultados se destacan previamente los supuestos principales.

- Los recorridos entre extremos estudiados tienen una longitud de 10, 20 y 30 Km respectivamente.
- El número de paradas por kilómetro en un mismo sentido de viaje analizadas escogidas son 4, 3, 2 y 1. Los 2 valores más altos están en línea con lo que ha definido el Ministerio de Transporte en las licitaciones. El tiempo de detención en cada parada, es de 1 minuto.
- La velocidad media de los buses es 20 Km/hora.
- Se estudiaron 2 casos para el terminal de carga: caso 1: 1 terminal para el recorrido y caso 2: 1 terminal en cada extremo del recorrido.
- Se supone una detención obligada de 10 minutos en sólo uno de los terminales de carga, independientemente del caso estudiado, 1 o 2 terminales de carga. El propósito de esta detención es permitir el reemplazo de conductor cuando corresponda y admitir cargas de oportunidad.
- La prestación del servicio se otorga durante 17 horas al día.
- El caso base se estudia para buses con baterías de 300 KWh de capacidad. El rendimiento promedio de los buses es de 1.5 KWh por kilómetro.
- Todos los buses tienen aire acondicionado frío/calor obtenido mediante tecnología inverter. El acondicionamiento de aire está en servicio tanto si el bus está en movimiento o si está detenido. El consumo de energía diario es de 70 KWh.

Carga 80%-20%+Carga de oportunidad: El uso de esta modalidad de carga reduce la demanda agregada del terminal, en comparación con la carga plena 100%. Para la flota de un terminal monoservicio se muestran en la Tabla 78. Cuando el tiempo de carga es de 3 horas, se admiten 2 cargas diferidas con un mismo cargador durante las horas de no servicio(7 horas según los supuestos). Esto implica cargadores de mayor potencia que los escogidos para carga en 4 horas, pero la demanda agregada del terminal se reduce considerablemente.

Tabla 78: Potencia Nominal de Terminal Monoservicio. Carga 80%-20% + Carga de oportunidad

Tiempo de carga [Horas]				3			4					
Recorrido en un sentido [Km]	Capacidad de la batería [KWh]	Frec. Pasada bus en parada [Min]	N° Buses por Terminal Monoservicio		Máximo de cargas diferidas	Potencia del Cargador [KW]	Potencia Nominal Del Terminal [MW]		Máximo de cargas diferidas	Potencia del Cargador [KW]	Potencia Nominal Del Terminal [MW]	
10	300	6	26	22	2	80,00	1040	880	1	60	1560	1320
		10	14	12	2	80,00	560	480	1	60	840	720
		12	12	10	2	80,00	480	400	1	60	720	600
20	450	6	48	42	2	120,00	2880	2520	1	90	4500	3780
		10	28	24	2	120,00	1680	1440	1	90	2520	2160
		12	24	20	2	120,00	1440	1200	1	90	2160	1800
20	450	6	72	62	2	120,00	4320	3720	1	90	6480	5580
		10	42	36	2	120,00	2520	2160	1	90	3780	3240
		12	36	30	2	120,00	2160	1800	1	90	3240	2700
Número de paradas por Km			4	3			4	3			4	3

Conclusión: Los resultados muestran que independiente de la distancia del recorrido y la modalidad de carga, la potencia de los terminales monoservicio puede ser suministrada desde la red de media tensión.

14.7 Infraestructura de Carga Terminales Multiservicio

En la mayoría de las ciudades medianas o grandes, el transporte público requiere de más de un recorrido para realizar el servicio. Esto en forma natural un concesionario lo asociaría con un terminal de buses multiservicio. Para calibrar el tamaño de los terminales multiservicio, se empleó el número de buses en distintas ciudades del país (ver Tabla 79). Tomando en consideración esas cifras se hizo el análisis que se muestra a continuación.

Tabla 79: Número de buses por ciudad de Chile

Ciudad	Nº de Buses	Ciudad	Nº de Buses	Fuente
Región Metropolitana	6452	Rancagua	298	Informe Técnico de Gestión DTPM 2022
Arica	248	Talca	264	Nuria Hartmann, In-Data SpA: Consultoría para Catastro de Terminales y/o Depósitos de Buses para el Transporte Público Urbano, preparado para la Agencia de Sostenibilidad Energética. (18.06.2021)
Iquique + Alto Hospicio	355	Chillán	353	
Antofagasta	729	Concepción	787	
Coquimbo	271	Temuco	648	
La Serena	223	Valdivia	317	
Valparaíso	919	Osorno	329	
Viña del Mar	480	Puerto Montt	518	

Región Metropolitana. A julio de 2023, la cantidad de buses de la RM es de 6452 y el número de concesionarios de servicio de transporte público es 8. El cociente entre ambas de buses por es cercano a 800 buses por concesionario. Empleando ese valor se analizan los resultados para las dos estrategias de carga de las baterías. Arbitrariamente se definieron terminales con 100, 200 y 400 buses eléctricos.

Carga Plena 100: la Tabla 80 muestra los resultados obtenidos para las distancias de recorrido de 10, 20 y 30 Km en un sentido, diferenciando tiempos de carga de 3 y 4 horas, parámetros que condicionan el número de cargas diferidas en el terminal durante las horas de no servicio y la potencia del cargador. En síntesis es posible concluir lo siguiente:

- Para el recorrido de 10 kilómetros, un terminal que aloja 100 buses puede ser alimentado desde la red de media tensión. Cuando el terminal tiene 200 buses la situación se extrema y sólo con una duración de cargas de 3 horas es posible alimentarlos desde la red de distribución.
- Para el recorrido de 20 y 30 kilómetros, un terminal que aloja 100 buses puede ser alimentado desde la red de media tensión. Cuando el terminal tiene 200 buses la situación difícilmente es posible alimentarlos desde la red de distribución Para 400 buses, la solución es construir una subestación de transformación desde alta a media tensión.

Tabla 80: Potencia de un terminal multiservicio en función del número de buses y distancia de recorrido. Caso Carga Plena 100%

Tiempo de carga [Horas]			3				4			
Recorrido en un sentido [Km]	Capacidad de la batería [KWh]	Nº de Buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]
10	300	100	2	100	8	5	1	75	8	8
		200	2	100	4	10	1	75	4	15
		400	2	100	2	20	1	75	2	30
20	450	100	2	150	8	8	1	112,5	8	11
		200	2	150	4	15	1	112,5	4	23
		400	2	150	2	30	1	112,5	2	45
20	450	100	2	150	8	8	1	112,5	6	11
		200	2	150	4	15	1	112,5	3	23
		400	2	150	2	30	1	112,5	2	45
Número de paradas por Km					4	3			4	3

Carga 80%-20% + Carga de Oportunidad: la Tabla 81 muestra los resultados obtenidos para las distancias de recorrido de 10, 20 y 30 Km en un sentido, diferenciando tiempos de carga de 3 y 4 horas, parámetros que condicionan el número de cargas diferidas en el terminal durante las horas de no servicio y la potencia del cargador. En síntesis es posible concluir lo siguiente:

- Para el recorrido de 10 kilómetros, un terminal que aloja 100 buses puede ser alimentado desde la red de media tensión. Cuando el terminal tiene 200 buses la situación se extrema y sólo con una duración de cargas de 3 horas es posible alimentarlos desde la red de distribución.
- Para el recorrido de 20 y 30 kilómetros, un terminal que aloja 100 buses puede ser alimentado desde la red de media tensión. Cuando el terminal tiene 200 buses la situación difícilmente es posible alimentarlos desde la red de distribución. Para 400 buses, la solución es construir una conexión en alta tensión e incorporar subestación de transformación de alta a media tensión.

Tabla 81: Potencia de un terminal multiservicio en función del número de buses y distancia de recorrido. Caso Carga 80%-20% + Carga de Oportunidad

Tiempo de carga [Horas]			3				4			
Recorrido en un sentido [Km]	Capacidad de la batería [KWh]	Nº de Buses por Terminal	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]	Máximo de Cargas Diferidas en Terminal	Potencia Cargador [KW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]
10	300	100	2	80	8	4	1	60	8	6
		200	2	80	4	8	1	60	4	12
		400	2	80	2	16	1	60	2	24
20	450	100	2	120	8	6	1	90	8	9
		200	2	120	4	12	1	90	4	18
		400	2	120	2	24	1	90	2	36
20	450	100	2	120	8	6	1	90	6	9
		200	2	120	4	12	1	90	3	18
		400	2	120	2	24	1	90	2	36
Número de paradas por Km					4	3			4	3

Ciudades en Regiones, La situación en este caso es diversa pero existen patrones que se pueden analizar:

Valparaíso, Concepción y Antofagasta según lo mostrado en la Tabla 79, tienen un número de buses comparables a los 800 estudiados para la RM. De este modo las soluciones en términos de cantidad de buses alojados en un terminal multiservicio y el número de terminales serían similares.

Para otras ciudades como Viña del Mar, Temuco y Puerto Montt que tienen entre 450 a 650 buses, la Tabla 82 y la Tabla 83 exhiben el número de terminales y su potencia, considerando como parámetro la duración de la carga (3 o 4 horas) y el uso de carga plena 100% o carga 80%-20% + carga de oportunidad. Los resultados, independiente de la longitud del recorrido, muestran que es posible la alimentación del terminal multiservicio cuando se alojan 100 buses. De allí en adelante las magnitudes de potencia ameritan el desarrollo de una conexión en alta tensión y una subestación transformadora de alta a media tensión para alimentar desde allí la red de reparto interna de media tensión.

Al comparar las potencias de los terminales de igual condición entre la Tabla 82 y la Tabla 83 nuevamente queda en evidencia la importancia de escoger una estrategia de carga 80%-20% + carga de oportunidad y un tiempo de carga de 3 horas.

Tabla 82: Potencia y Número de Terminales para flotas de 450 a 600 Buses.
Caso de Carga Plena 100%

Tiempo de carga [Horas]			3				4			
N° de Buses			450		600		450		600	
Recorrido en un sentido [Km]	Capacidad de la batería [kWh]	N° de Buses por Terminal	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]
10	300	100	5	5,0	6	5,0	5	7,5	6	7,5
		200	3	10,0	3	10,0	3	15,0	3	15,0
		300	2	15,0	2	15,0	2	22,5	2	22,5
20	450	100	5	7,5	6	7,5	5	11,3	6	11,3
		200	3	15,0	3	15,0	3	22,5	3	22,5
		300	2	22,5	2	22,5	2	33,8	2	33,8
20	450	100	5	7,5	6	7,5	5	11,3	6	11,3
		200	3	15,0	3	15,0	3	22,5	3	22,5
		300	2	22,5	2	22,5	2	33,8	2	33,8
Número de paradas por Km					4	3			4	3

Tabla 83: Potencia y Número de Terminales para flotas de 450 a 600 Buses.
Caso de Carga 80%-20% + Carga de Oportunidad

Tiempo de carga [Horas]			3				4			
N° de Buses			450		600		450		600	
Recorrido en un sentido [Km]	Capacidad de la batería [kWh]	N° de Buses por Terminal	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]	Número de Terminales	Potencia del Terminal [MW]
10	300	100	5	4,0	6	4,0	5	6,0	6	6,0
		200	3	8,0	3	8,0	3	12,0	3	12,0
		300	2	12,0	2	12,0	2	18,0	2	18,0
20	450	100	5	6,0	6	6,0	5	9,0	6	9,0
		200	3	12,0	3	12,0	3	18,0	3	18,0
		300	2	18,0	2	18,0	2	27,0	2	27,0
20	450	100	5	6,0	6	6,0	5	9,0	6	9,0
		200	3	12,0	3	12,0	3	18,0	3	18,0
		300	2	18,0	2	18,0	2	27,0	2	27,0
Número de paradas por Km					4	3			4	3

Las demás ciudades cuya cantidad de buses es inferior a 360, entre ellas Arica, Iquique, La Serena, Coquimbo, Rancagua, Talca, Chillán, Valdivia y Osorno, podrían tener flotas de buses con terminales multiservicio que serían alimentados desde la red de media tensión cuando el número de buses alojados en estos fuera del orden de 100. Cuando se supera esa cifra sería necesario desarrollar una conexión en alta tensión e incorporar una subestación transformadora de alta a media tensión.

14.8 Impacto sobre la red eléctrica

Se resume a continuación la demanda agregada de potencia que representarían las flotas de buses eléctricos a lo largo del país, suponiendo que están plenamente desplegados los servicios, manteniendo las cantidades que ha analizado el estudio: 6.452 buses eléctricos en la RM y 11.077 en las demás Regiones.

14.8.1 Región Metropolitana

Tomando en cuenta que el total de buses es de 6.452, la demanda agregada (que es la exigencia sobre la infraestructura eléctrica de la RM), tendría los valores que se indican a continuación en la Tabla 84 y la Tabla 85.

Recorridos de 10 KM en un sentido: Fluctuaría entre 483,9 MW y 322,6 MW cuando la estrategia de uso de las baterías es de carga al 100%, registrándose el mayor valor cuando se decide un tiempo de carga igual a 4 horas y el menor si se escoge 3 horas. Si se adopta una estrategia de carga 80%-20% con carga de oportunidad, las cifras fluctúan entre 387,1 MW y 258,1 MW, correspondiendo el mayor valor a un tiempo de carga de 4 horas y el menor si el tiempo de carga es de 3 horas.

Recorridos de 20 Km en un sentido: Fluctuaría entre 725,9 MW y 483,9 MW cuando la estrategia de uso de las baterías es de carga al 100%, el mayor valor se registra cuando la estrategia de uso de las baterías es de carga al 100%, registrándose el mayor valor cuando se decide un tiempo de carga igual a 4 horas y el menor si se escoge 3 horas. Si se adopta una estrategia de carga 80%-20% con carga de oportunidad, las cifras fluctúan entre 580,7 MW y 387,1 MW, correspondiendo el mayor valor a un tiempo de carga de 4 horas y el menor si el tiempo de carga es de 3 horas.

Tabla 84: Demanda agregada para el total de buses eléctricos Región Metropolitana.
Estrategia de Carga plena 100%

Tiempo de carga [Horas]			3			4		
Recorrido en un sentido [Km]	Capacidad de la batería [KWh]	Frec. Pasada bus en parada [Min]	Máximo de cargas diferidas	Potencia del Cargador [KW]	Potencia Nominal Del Terminal [MW]	Máximo de cargas diferidas	Potencia del Cargador [KW]	Potencia Nominal Del Terminal [MW]
10	300	6	2	100,00	322,6	1	75	483,9
		10						
		12						
20	450	6	2	150,00	483,9	1	112,5	725,9
		10						
		12						

Tabla 85: Demanda agregada para el total de buses eléctricos Región Metropolitana.
Estrategia de Carga 80%-20% + Carga de Oportunidad

Tiempo de carga [Horas]			3			4		
Recorrido en un sentido [Km]	Capacidad de la batería [KWh]	Frec. Pasada bus en parada [Min]	Máximo de cargas diferidas	Potencia del Cargador [KW]	Potencia Nominal Del Terminal [MW]	Máximo de cargas diferidas	Potencia del Cargador [KW]	Potencia Nominal Del Terminal [MW]
10	300	6	2	100,00	258,2	1	75	387,1
		10						
		12						
20	450	6	2	150,00	483,9	1	112,5	725,9
		10						
		12						

14.8.2 Estimación de la demanda para flota de 1200 buses

En el capítulo 12 (sección 12.2.3) se analizan las exigencias que imponen 1200 buses, número que corresponde al indicado en la licitación MTT 2023.

Los datos que se emplean en los cálculos son los determinados para un recorrido de 10 Km y 20 Km en un sentido, considerando frecuencias de pasada de buses en las paradas cada 6, 10 y 12 minutos. Cabe recordar que las baterías del bus tendrían una capacidad de 300 KWh y 450 KWh para recorridos de 10 y 20 kilómetros en un sentido respectivamente.

Demanda agregada de la flota de buses: Tomando en cuenta el total de buses, la demanda agregada, que corresponde a la exigencia sobre la infraestructura eléctrica de la RM, sería:

- Para recorridos de 10 Km en un sentido: La demanda fluctuaría entre 60 MW y 90 MW cuando la estrategia de uso de las baterías es de carga al 100%, registrándose el mayor valor cuando se decide un tiempo de carga igual a 4 horas y el menor si se escoge 3 horas. Si se adopta una estrategia de carga 80%-20% con carga de oportunidad, las cifras fluctúan entre 48 MW y 72 MW, correspondiendo el mayor valor a un tiempo de carga de 4 horas y el menor si el tiempo de carga es de 3 horas.
- Para recorridos de 20 Km en un sentido: La demanda fluctuaría entre 90 MW y 135 MW cuando la estrategia de uso de las baterías es de carga al 100%, el mayor valor se registra cuando la estrategia de uso de las baterías es de carga al 100%, registrándose el mayor valor cuando se decide un tiempo de carga igual a 4 horas y el menor si se escoge 3 horas. Si se adopta una estrategia de carga 80%-20% con carga de oportunidad, las cifras fluctúan entre 72 MW y 108 MW, correspondiendo el mayor valor a un tiempo de carga de 4 horas y el menor si el tiempo de carga es de 3 horas.

Exigencias de terminales de carga multiservicio: Considerando agrupaciones de 150, 200 y 250 buses por terminal. Se aprecia en ella lo siguiente:

- Para recorridos de 10 Km en un sentido: El número de terminales que disminuye conforme se concentran más buses, fluctúa entre 8 y 5. Para carga plena 100% y tiempo de carga de 3 horas, la potencia del terminal se mueve en el rango de 8 a 13 MW. Si se ocupa un tiempo de carga de 4 horas, la potencia del terminal se mueve entre 11 y 19 MW. Para carga 80%-20% con carga de oportunidad y tiempo de carga de 3 horas, la potencia del terminal se mueve en el rango de 6 a 10 MW. Si se ocupa un tiempo de carga de 4 horas, la potencia del terminal se mueve entre 9 y 15 MW.
- Para recorridos de 20 Km en un sentido: El número de terminales que disminuye conforme se concentran más buses, fluctúa entre 8 y 5. Para carga plena 100% y tiempo de carga de 3 horas, la potencia del terminal se mueve en el rango de 11 a 19 MW. Si se ocupa un tiempo de carga de 4 horas, la potencia del terminal se mueve entre 17 y 28 MW. Para carga 80%-20% con carga de oportunidad y tiempo de carga de 3 horas, la potencia del terminal se mueve en el rango de 9 a 15 MW. Si se ocupa un tiempo de carga de 4 horas, la potencia del terminal se mueve entre 14 y 23 MW.

Vistos los resultados, es claro que en algunos casos, la solución puede establecerse con alimentadores dedicados en media tensión y en otros pasa por incorporar una subestación eléctrica de alta a media tensión para alimentar la red de media tensión del terminal. En todos los casos se necesita una alimentación redundante por un problema de confiabilidad.

14.8.3 Regiones

La estimación de la demanda agregada por regiones, se desarrolló mediante una versión ad hoc del Modelo de Dimensionamiento de Flotas descrito en el capítulo 8, considerando como dato de entrada el número de buses por ciudades y regiones obtenidos de la Consultoría para Catastro de Terminales y/o Depósitos de Buses para el Transporte Público Urbano, preparado para la Agencia de Sostenibilidad Energética. (18.06.2021),¹⁴ un bus eléctrico de 8,5 m de largo y 15-30 asientos y un recorrido típico de 10 Km en un sentido. El servicio estaría activo por 17 horas al día y 7 horas de no servicio. La velocidad de media de los buses en marca sería de 20 Km/hora, habría 4 paradas de 1 minuto por kilómetro y el tiempo de detención en el terminal sería de 10 minutos.

Los resultados del total de demanda en regiones se muestra en la Tabla 86, en donde se aprecia claramente la importancia de escoger tiempos de carga de 3 horas y emplear la estrategia de Carga 80%-20% + Carga de Oportunidad.

La apertura de las demandas por Regiones se muestra en la Tabla 87. Los resultados evidencian grandes concentraciones de demanda en Valparaíso y Bio Bio, que son importantes en relación con la demanda máxima de esas zonas. De algún modo eso evidencia la relevancia de desarrollar una adecuada planificación de la red eléctrica coordinada con la estrategia de reemplazo de los buses actuales por eléctricos.

El ámbito de estudio de la red eléctrica abarcaría a líneas de alta tensión, ampliación de la capacidad de las subestaciones AT/MT existentes o bien nuevas subestaciones.

¹⁴ Nuria Hartmann, In-Data SpA: Consultoría para Catastro de Terminales y/o Depósitos de Buses para el Transporte Público Urbano, preparado para la Agencia de Sostenibilidad Energética. (18.06.2021)

Tabla 86: Demanda agregada para el total de buses eléctricos en Regiones.
Estrategias de Carga plena 100% y Carga 80%-20% + carga de Oportunidad

Total Regiones		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	11.077				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		554	826	440	660

Tabla 87: Demanda agregada para el total de buses eléctricos en cada Región.
Estrategias de Carga plena 100% y Carga 80%-20% + carga de Oportunidad

Región	Nº de Buses	Demanda agregada de potencia por Regiones [MW]			
		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Arica y Parinacota	248	12,4	18,6	9,9	14,9
Tarapacá	355	17,8	26,6	14,2	21,3
Antofagasta	972	48,6	72,9	38,9	58,3
Atacama	97	4,9	7,3	3,9	5,8
Coquimbo	567	28,4	42,5	22,7	34,0
Valparaíso	2182	109,1	163,7	87,3	130,9
O'Higgins	328	16,4	24,6	13,1	19,7
Maule	672	33,6	50,4	26,9	40,3
Ñuble	368	18,4	27,6	14,7	22,1
Bío Bío	3046	152,3	228,5	121,8	182,8
Araucanía	947	47,4	71,0	37,9	56,8
Los Lagos	908	45,4	68,1	36,3	54,5
Los Ríos	317	15,9	18,6	9,9	14,9
Magallanes	70	3,5	5,3	2,8	4,2
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4

14.9 Condiciones de suministro eléctrico

Se resumen aquí cinco aspectos: la curva de carga del terminal de buses en forma y temporalidad, el tipo de energía que demandarán los terminales, la redundancia de la infraestructura eléctrica y la seguridad de suministro de energía.

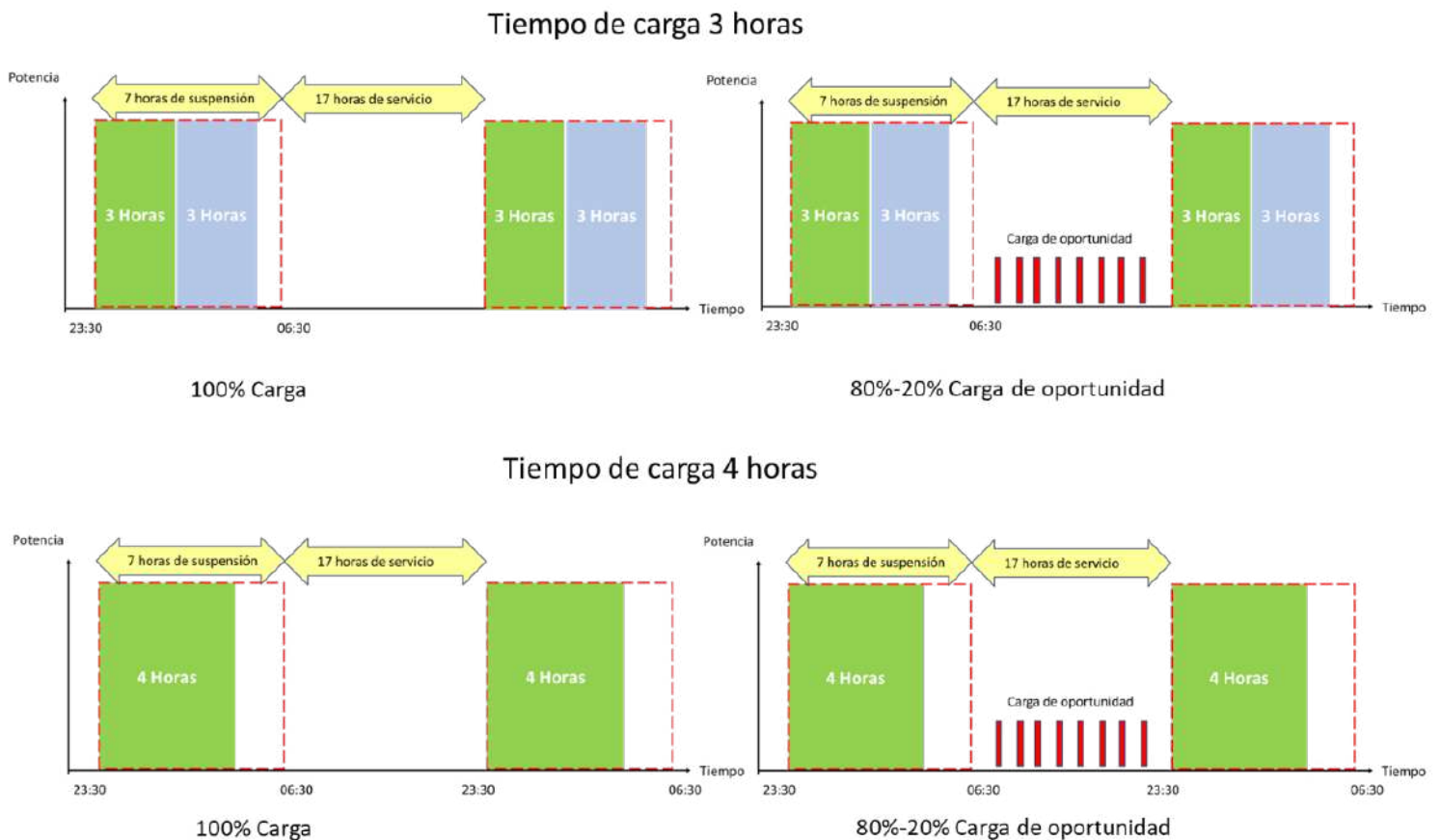
Forma de curva de carga

Atendiendo a que una parte importante de la carga de las baterías de los buses eléctricos se lleva a cabo en el terminal durante las horas nocturnas cuando el servicio está suspendido, la mayor demanda se registrará durante esas horas. Si se emplea carga 80%-20% con carga de oportunidad, también existirá una demanda de carga de oportunidad durante las horas en que se está prestando el servicio, cada vez que un bus visite el terminal.

Las formas de las curvas de carga para distintos tiempos de carga y los casos de ciclo de carga 100% y de carga 80%-20% con carga de oportunidad se muestran esquemáticamente en la Figura 14.

La potencia demandada por el terminal cuando sólo se puede hacer una carga masiva durante el tiempo de reposo (4 horas) duplica a la necesaria cuando es posible emplear carga secuencial (3 horas).

Figura 14: Formas esquemáticas de curva de carga para terminales



En los casos de carga plena 100%, la totalidad de la demanda se registra cuando los buses están estacionados en el terminal en horas de no servicio.

Por su parte si se emplea carga 80%-20% + carga de oportunidad, existen 2 situaciones:

- Para el recorrido de 10 Km en un sentido, la carga en el terminal en horas de no servicio y la de oportunidad durante las horas de servicio se reparte en una proporción de 2/3 es a 1/3 independientemente si se trata de un terminal monoservicio o multiservicio.
- Para el recorrido de 20 Km en un sentido, la carga en el terminal en horas de no servicio y la de oportunidad durante las horas de servicio se reparte en una proporción que depende del número de paradas por kilómetro. Cercana a 10% para 4 paradas, mientras que en el caso de 3 paradas la carga de oportunidad se acerca a 1/3 de la de carga plena.

Finalmente hay que destacar que la demanda máxima de potencia y energía del terminal ocurre en las horas de noche. En los casos analizados entre las 23:30 de un día y las 6:30 del siguiente, condición que es relevante para efectos del impacto sobre la infraestructura de la red eléctrica, particularmente para los transformadores AT/MT de las subestaciones de bajada y también en cierta medida sobre la red de distribución en MT.

Energía Limpia

Bajo el supuesto que se quiere emplear energía limpia para alimentar las flotas de buses:

Si se adopta la estrategia de carga plena 100%, la energía que demandarán los terminales será requerida en las horas en que el servicio está suspendido y todos los buses en el terminal. Según los supuestos adoptados en este estudio, esto ocurriría entre las 23:30 de un día y las 6:30 AM del día siguiente. Las implicancias de esta decisión es que la carga ocurre en horas de ausencia de generación fotovoltaica y de ausencia o a lo menos escasez eólica, quedando disponible sólo las plantas hidráulicas, situación que reduce la oferta a menos que los proveedores empleen sistemas de almacenamiento de energía. Ambas situaciones presionan el costo del suministro al alza en el corto plazo (uno o dos años). Con la reciente incorporación masiva de BESS en centrales generadoras PV y Eólicas para conformar plantas ERNC con capacidad de almacenamiento, la oferta de energía limpia existirá aún de noche.

Si se usa la estrategia de carga 80%-20% + carga de oportunidad, la energía se demandará tanto en las horas en que el servicio está suspendido y todos los buses en el terminal, como en las horas en que los buses están prestando el servicio y reciben carga de oportunidad en el terminal. La magnitud relativa de la demanda de energía durante la noche comparada con la requerida en horas de día, según los resultados obtenidos en este estudio, aparentemente depende de la longitud del recorrido, pero en estricto rigor la variable que explica la proporción es la capacidad de la batería del bus. Es así que la proporción es cercana a 2/3 a 1/3 (terminal no servicio, oportunidad en servicio) en el recorrido de 10 Km para buses con baterías de 300 KWh. Cuando el recorrido es de 20 Km, los buses que prestan el servicio usan baterías de 450 KWh y la necesidad de carga de oportunidad se reduce. En estas condiciones la proporción cambia a 80% versus 20% (terminal no servicio, oportunidad en servicio). Con todo, la oferta de energía limpia fuera de las horas de sol, estará garantizada por el desarrollo de plantas ERNC con capacidad de almacenamiento.

Un enfoque distinto es no emplear energía limpia, allí la forma de la curva de demanda de los terminales (horas de no servicio y oportunidad), tiene una importancia menor.

Instalación de paneles fotovoltaicos en el terminal

La inclusión de paneles fotovoltaicos en el diseño de un terminal de carga, ya sea para complementar la energía obtenida desde la red, o bien por adoptar una solución autosuficiente aislada del sistema, es una definición estratégica que implica evaluar conjuntamente dimensiones económicas, técnicas y de riesgo, las que por su naturaleza están fuera del alcance de este trabajo. Lo anterior no impide que al estudiarse el tema técnico se puedan establecer algunas recomendaciones como las que se resumen a continuación.

El empleo de paneles fotovoltaicos tiene sentido cuando se ha escogido la opción de carga nocturna + carga de oportunidad o simplemente de uso pleno de carga de oportunidad. Bajo estos supuestos se analizan los aspectos que se indican a continuación. Se supone el desarrollo de un mismo proyecto en distintas regiones del país, representadas por las ciudades de Antofagasta, La Serena, Santiago, Talca, Concepción, Temuco y Puerto Montt. La información empleada se extrajo del Explorador Solar de la Universidad de Chile.

Magnitud de Radiación y Variación Mensual:

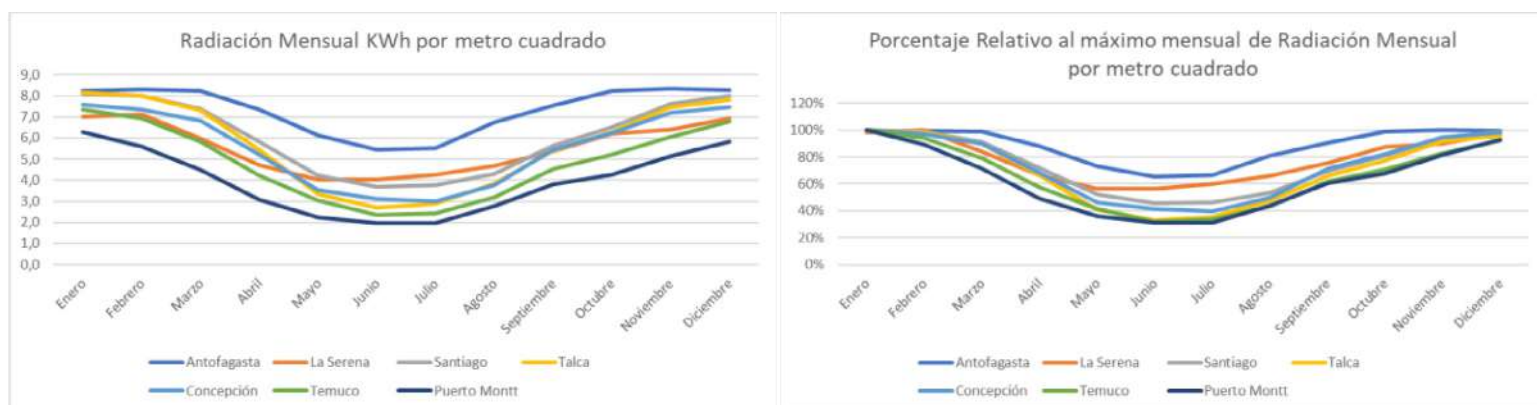
En su lado izquierdo, la Figura 15 muestra la radiación total mensual por metro cuadrado de las ciudades antes mencionadas. Se observa que la ciudad de mayor radiación es Antofagasta y la de menor es Puerto Montt, también se aprecia que en los meses de verano Antofagasta y Talca exhiben magnitudes comparables. Otro tanto, aunque a menor escala ocurre con La Serena, Santiago, Concepción y Temuco en el mismo período.

En el lado derecho de la misma figura, se muestra el porcentaje mensual de radiación relativo al máximo anual determinado para cada ciudad. Se aprecia en el gráfico lo siguiente:

- En Antofagasta la relación entre la radiación máxima y la mínima mensual, varía entre 100% y 70% de verano a invierno. Para La Serena la variación es de 100% a 60%.
- En Santiago la variación es entre 100% y 45%.
- Para Talca, Concepción, Temuco y Puerto Montt la variación es de 100% a 30%.

Se concluye con esta información que si se desarrolla un mismo proyecto en todas las ciudades estudiadas, en Antofagasta se requieren menos paneles solares. Otro aspecto y tal vez el más importante, es que el diseño debe ser apto para proveer la energía que se demanda en el mes de menor radiación. Es así como el menor sobre equipamiento ocurriría en Antofagasta y el máximo de Talca al sur.

Figura 15: Radiación Mensual por Metro Cuadrado en Ciudades



Distribución Horaria Mensual de la Radiación en Ciudades:

Para Antofagasta, Santiago y Puerto Montt, en la Figura 16 se muestra la distribución horaria de la radiación total mensual por metro cuadrado. En ella además se ve un rectángulo que representa las horas en que los buses prestan el servicio de transporte de pasajeros (6:30 a 23:30 en este estudio). Así mismo se aprecian dos líneas paralelas, rotuladas como 300 W y 500 W respectivamente, éstas representan la capacidad de captación de un panel fotovoltaico de 600 W y de 1000 W (la superficie de un panel es 2 m²).

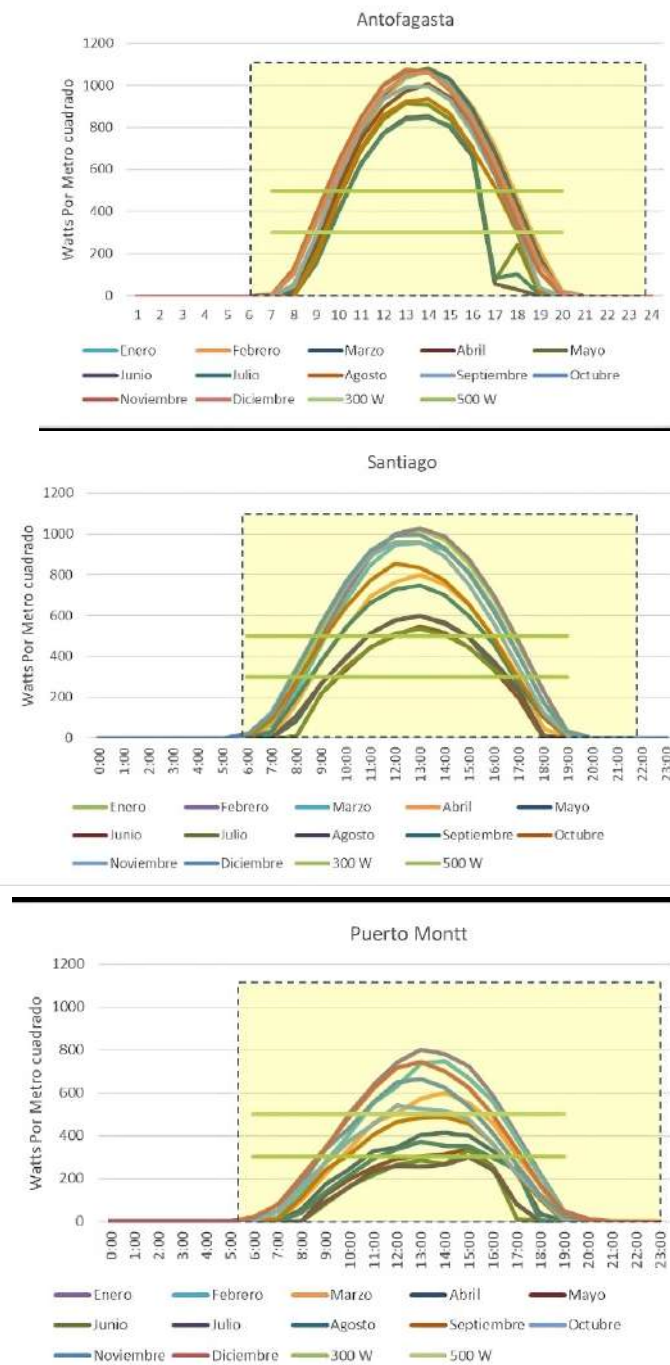
Las principales conclusiones que se pueden extraer de las figuras son las siguientes:

- Las horas de prestación del servicio de transporte público excede al tiempo en que hay radiación disponible. La radiación disponible entre las 6 y las 7 am, es poco densa para hacer una captación importante mediante paneles. Algo similar ocurre después de las 18 y 19 horas en invierno y verano respectivamente.
- Observando el cruce de las rectas 300 W y 500 W con las de distribución horaria, se aprecia que en Antofagasta la dispersión de la forma de la curva entre verano e invierno no es significativa, es importante en Santiago y severa en Puerto Montt. Esto define el número de horas en que se puede captar radiación de magnitud similar.
- El tercer aspecto es comparar verticalmente la forma de la curva de distribución horaria de radiación con las rectas 300 W y 500 W. Se concluye de este ejercicio lo siguiente:
 - En Antofagasta emplear paneles de 600 W o de 1000 W es eficiente durante todos los meses del año por unas 10 y 9 horas respectivamente.
 - En Santiago el panel más eficiente sería el de 600 W que permitiría captar energía entre 10 y 8 horas según se trate de invierno o verano.
 - En Puerto Montt no sería eficiente el uso de paneles solares como los estudiados para carga de oportunidad.

Respecto de diseños aislados de la red con alimentación exclusiva mediante paneles solares, cabe decir dos cosas:

- Cómo no es posible entregar carga de oportunidad en todas las horas de prestación del servicio, es necesario dejar algunos buses detenidos en el terminal sin prestar el servicio de recorrido regular junto con los demás hasta que sean requeridos. Existirá un conjunto cargado el día anterior para iniciar el circuito diario y otro cargado durante el día para concluir el ciclo diario una vez que no haya radiación disponible.
- Comparativamente con un diseño que obtenga energía de la red, el diseño con alimentación mediante paneles solares aislado de la red, este último requiere un mayor número de buses.

Figura 16: Distribución Horaria de Radiación Mensual en Antofagasta Santiago y Puerto Montt



Redundancia de infraestructura

Para terminales que acogen multiservicios, lo más probable es que el diseño contemple una subestación eléctrica de bajada de alta a media tensión, redes de media tensión y transformadores de distribución. En este caso la componente crítica es el transformador de poder, porque si llegara a fallar, este suceso compromete la operación del terminal durante el tiempo necesario para reemplazar la unidad fallada. Considerando que esos transformadores no son productos de stock y contar con un reemplazo puede tomar hasta un año, la solución pasa por tener un diseño redundante, esto es a lo menos dos transformadores de igual potencia, cada uno capaz de suplir la demanda del terminal.

Respecto de la red de media tensión, para asegurar que puedan alimentarse la red de cargadores, un diseño simple podría ser uno o más anillos en media tensión operados radiales, capaces de suministrar la demanda de todo el anillo desde un extremo. Esto aplicaría para terminales que tienen en la entrada tanto alimentación en alta tensión como en media tensión. Con todo una falla en la red de media tensión, dependiendo de su severidad, es reparable en horas o a lo más en un par de días.

Un último punto a comentar es el de los cargadores necesarios para carga de oportunidad en el terminal. Existen dos situaciones:

- Cuando la potencia del cargador de oportunidad es igual o menor que la de los necesarios para carga de la flota en reposo durante las horas de servicio suspendido. En este caso, son esos cargadores los que también se utilizarán para carga de oportunidad.
- Cuando la potencia del cargador de oportunidad es mayor que la de los necesarios para carga de la flota en reposo durante las horas de servicio suspendido. En este caso, es necesario agregar al diseño un conjunto de cargadores de oportunidad con la capacidad adecuada. Ha de tenerse en consideración que el número mínimo de esos cargadores es uno por cada recorrido, porque cargan secuencialmente los buses que arriban al terminal. Por razones de seguridad, ese número podría duplicarse o tomar un factor de redundancia mayor.

Seguridad de servicio

El concepto de seguridad de servicio en este estudio se asocia con la disponibilidad de energía eléctrica en los momentos críticos. Tratándose de una flota de buses eléctricos, esto ocurre cuando hay un corte de suministro en las horas en que la flota descansa en el terminal para cargar las baterías. Si no se puede realizar esa carga, la flota no podría prestar el servicio al día siguiente.

Existe más de una solución al problema, por ejemplo, contar con un sistema de almacenamiento de energía para emergencias, también un conjunto adicional de buses stand by con carga plena, o un grupo generador de emergencia. De estas tres, vistos los precios actuales, la más económica será la última a pesar de que la energía suministrada para emergencia no será de fuente limpia.

ANEXO: DEMANDA DE TERMINALES POR CIUDAD EN REGIONES

15

15. ANEXO: DEMANDA DE TERMINALES POR CIUDAD EN REGIONES

Se muestra en este anexo el número de buses por ciudad, el número de terminales y la demanda agregada por ciudad. Se describen los casos de carga plena a 100% y el modo de uso de 80%-20% de las baterías con carga de oportunidad. Se analiza el dimensionamiento para tiempo de carga de 3 y 4 horas.

Demanda de terminales por ciudad. Región de Arica y Parinacota

Arica y Parinacota	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 248				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]	12,4	18,6	9,9	14,9

Arica	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 248				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	12,4	18,6	9,9	14,9
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	10	11	10	11
10	18	21	18	21
12	21	25	21	25

Demanda de terminales por ciudad. Región de Tarapacá

Tarapacá	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 355				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]	17,8	26,6	14,2	21,3

Alto Hospicio	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 246				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	12,3	18,5	9,8	14,8
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	9	11	9	11
10	18	21	18	21
12	21	25	21	25

Iquique	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 109				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	5,5	8,2	4,4	6,5
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	4	5	4	5
10	8	9	8	9
12	9	11	9	11

Demanda de terminales por ciudad. Región de Antofagasta

Antofagasta	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 972				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]	48,6	72,9	38,9	58,3

Calama	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 235				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	11,8	17,6	9,4	14,1
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	9	11	9	11
10	17	20	17	20
12	20	24	20	24

Tocopilla	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 8				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	0,4	0,6	0,3	0,5
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	0	0	0	0
10	1	1	1	1
12	1	1	1	1

Antofagasta	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 729				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	36,5	54,7	29,2	43,7
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	28	33	28	33
10	52	61	52	61
12	61	73	61	73

Demanda de terminales por ciudad. Región de Atacama

Atacama	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	97			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]	4,9	7,3	3,9	5,8

Copiapó	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	70			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	3,5	5,3	2,8	4,2
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	3	3	3	3
10	5	6	5	6
12	6	7	6	7

Vallenar	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	27			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	1,4	2,0	1,1	1,6
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	1	1	1	1
10	2	2	2	2
12	2	3	2	3

Demanda de terminales por ciudad. Región de Coquimbo

Coquimbo	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 567				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]	28,4	42,5	22,7	34,0

Ovalle	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 73				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	3,7	5,5	2,9	4,4
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	3	3	3	3
10	5	6	5	6
12	6	7	6	7

La Serena	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 223				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	11,2	16,7	8,9	13,4
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	9	10	9	10
10	16	19	16	19
12	19	22	19	22

Coquimbo	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 271				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	13,6	20,3	10,8	16,3
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	10	10	10	10
10	19	23	19	23
12	23	27	23	27

Demanda de terminales por ciudad. Región de Valparaíso

Valparaíso	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	2182			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]	109,1	163,7	87,3	130,9

Villa Alemana	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	531			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	26,6	39,8	21,2	31,9
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	20	24	20	24
10	38	44	38	44
12	44	53	44	53

Quilpué	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	53			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	2,7	4,0	2,1	3,2
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	2	2	2	2
10	4	4	4	4
12	4	5	4	5

Viña del Mar	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	480			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	24,0	36,0	19,2	28,8
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	18	20	18	20
10	34	40	34	40
12	40	48	40	48

Valparaíso	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	919			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	46,6	68,9	36,8	55,1
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	35	42	35	42
10	66	77	66	77
12	77	92	77	92

Limache		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	191				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		9,6	14,3	7,6	11,5
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		7	9	7	9
10		14	16	14	16
12		16	19	16	19
Puchancaví		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	8				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		0,4	0,6	0,3	0,5
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		0	0	0	0
10		1	1	1	1
12		1	1	1	1

Demanda de terminales por ciudad. Región de O'Higgins

O'Higgins	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 328				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]	16,4	24,6	13,1	19,7

Rancagua	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 298				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	14,9	22,4	11,9	17,9
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	11	14	11	14
10	21	25	21	25
12	25	30	25	30

Machalí	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 30				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	1,5	2,3	1,2	1,8
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	1	1	1	1
10	2	3	2	3
12	3	3	3	3

Demanda de terminales por ciudad. Región del Maule

Maule	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	672			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]	33,6	50,4	26,9	40,3

Linares	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	120			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	6,0	9,0	4,8	7,2
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	5	5	5	5
10	9	10	9	10
12	10	12	10	12

Maule	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	100			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	5,0	7,5	4,0	6,0
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	4	5	4	5
10	7	8	7	8
12	8	10	8	10

Curicó	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	188			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	9,4	14,1	7,5	11,3
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	7	9	7	9
10	13	16	13	16
12	16	19	16	19

Talca	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	264			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	13,2	19,8	10,6	15,8
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	10	12	10	12
10	19	22	19	22
12	20	26	20	26

Demanda de terminales por ciudad. Región del Ñuble

Ñuble	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 368				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]	18,4	27,6	14,7	22,1

Chillán	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 353				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	17,7	26,5	14,1	21,2
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	14	16	14	16
10	25	29	25	29
12	29	35	29	35

Chillán Viejo	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses 15				
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	0,8	1,1	0,6	0,9
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	1	1	1	1
10	1	1	1	1
12	1	2	1	2

Demanda de terminales por ciudad. Región del Bío Bío

Bío Bío	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	3046			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]	125,3	228,5	121,8	182,8

Concepción	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	787			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	39,4	59,0	31,5	47,2
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	30	36	30	36
10	56	66	56	66
12	66	79	66	79

Tomé	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	150			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	7,5	11,3	3,0	9,0
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	6	7	6	7
10	11	13	11	13
12	13	15	13	15

Talcahuano	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	290			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	14,5	21,8	11,6	17,4
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	11	13	11	13
10	21	24	21	24
12	24	29	24	29

Penco	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	177			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	8,9	13,3	7,1	10,6
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	7	8	7	8
10	13	15	13	15
12	15	18	15	18

San Pedro de la Paz		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	245				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		12,3	18,4	9,8	14,7
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		9	11	9	11
10		18	20	18	20
12		20	25	20	25
Chiguayante		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	497				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		24,9	37,3	19,9	29,8
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		19	23	19	23
10		36	41	36	41
12		41	50	41	50
Hualpén		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	107				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		5,4	8,0	4,3	6,4
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		4	5	4	5
10		8	9	8	9
12		9	11	9	11
Coronel		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	136				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		6,8	10,2	5,4	8,2
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		5	6	5	6
10		10	11	10	11
12		11	14	11	14

Lota		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	322				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		16,1	24,2	12,9	19,3
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		12	15	12	15
10		23	27	23	27
12		27	32	27	32
Los Ángeles		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	174				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		8,7	13,1	7,0	10,4
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		7	8	7	8
10		12	15	12	15
12		15	17	15	17
Hualqui		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	161				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		8,1	12,1	6,4	9,7
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		6	7	6	7
10		12	13	12	13
12		13	16	13	16

Demanda de terminales por ciudad. Región de La Araucanía

Araucanía		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	947				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		47,4	71,0	37,9	56,8
Villarica		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	44				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		2,2	3,3	1,8	2,6
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		2	2	2	2
10		3	4	3	4
12		4	4	4	4
Temuco		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	648				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		32,4	48,6	25,9	38,9
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		25	29	25	29
10		46	54	46	54
12		54	65	54	65
Padre Las Casas		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	120				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		6,0	9,0	4,8	7,2
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		5	5	5	5
10		9	10	9	10
12		10	12	10	12
Vilcún		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	107				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		5,4	8,0	4,3	6,4
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		4	5	4	5
10		8	9	8	9
12		9	11	9	11

Nueva Imperial		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	3				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		0,2	0,2	0,1	0,2
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		0	0	0	0
10		0	0	0	0
12		0	0	0	0
Saavedra		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	2				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		0,1	0,2	0,1	0,1
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		0	0	0	0
10		0	0	0	0
12		0	0	0	0
Carahue		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	3				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		0,2	0,2	0,1	0,2
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		0	0	0	0
10		0	0	0	0
12		0	0	0	0
Lautaro		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	20				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		1,0	1,5	0,8	1,2
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		1	1	1	1
10		1	2	1	2
12		2	2	2	2

Demanda de terminales por ciudad. Región de Los Lagos

Los Lagos		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	918				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		45,4	68,1	36,3	54,5

Osorno		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	329				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		16,5	24,7	13,2	19,7

Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		13	15	13	15
10		24	27	24	27
12		27	33	27	33

Puerto Montt		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	518				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		25,9	38,9	20,7	31,1

Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		20	24	20	24
10		37	43	37	43
12		43	52	43	52

Ancud		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	13				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		0,7	1,0	0,5	0,8

Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		1	1	1	1
10		1	1	1	1
12		1	1	1	1

Castro		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	32				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		1,6	2,4	1,3	1,9

Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		1	1	1	1
10		2	3	2	3
12		3	3	3	3

Quellón	Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	16			
Tiempo de carga [horas]	3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]	0,8	1,2	0,6	1,0
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]	Número de Terminales			
6	1	1	1	1
10	1	1	1	1
12	1	2	1	2

Demanda de terminales por ciudad. Región de Los Ríos

Los Ríos		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	317				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		15,9	18,6	9,9	14,9

Valdivia		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	317				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		15,9	23,8	12,7	19,0
Frecuencia pasada del bus en cada parada [min]		Número de Terminales			
6		12	14	12	14
10		23	26	23	26
12		26	32	26	32

Demanda de terminales por ciudad. Región de Magallanes

Magallanes		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	70				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Región [MW]		3,5	5,3	2,8	4,2

Punta Arenas		Carga Plena 100%		Carga 80%-20% + Carga de oportunidad	
Número de buses	70				
Tiempo de carga [horas]		3	4	3	4
Demanda Agregada Ciudad [MW]		3,5	5,3	2,8	4,2
Frecuencia pasada del bus en cada		Número de Terminales			
6		3	3	3	3
10		5	6	5	6
12		6	7	6	7

REFERENCIAS

16

16. REFERENCIAS

- 16.1** Source: https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_electromovilidad-8dic-web.pdf
- 16.2** Source: https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia-nacional-electromovilidad_ministerio-de-energia.pdf
- 16.3** Source: https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/hoja_de_ruta_para_el_avancde_la_electromovilidad_en_chile_acciones_concretas_al_2026.pdf
- 16.4** Source: <https://electrek.co/2023/02/04/us-zero-emission-transit-buses-2022/>
- 16.5** Source: <https://www.imarcgroup.com/united-states-electric-bus-companies>
- 16.6** Source: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/europe-electric-bus-market>
- 16.7** Source: <https://mobilityportal.lat/top-3-los-lideres-del-mercado-de-buses-electricos-en-europa/>
- 16.8** Source: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/china-electric-bus-market>
- 16.9** Mobility Portal Latinoamérica: <https://mobilityportal.lat/>
- 16.10** Nuria Hartmann, In-Data SpA: Consultoría para Catastro de Terminales y/o Depósitos de Buses para el Transporte Público Urbano, preparado para la Agencia de Sostenibilidad Energética. (18.06.2021)
- 16.11** Source: <https://www.gob.cl/noticias/chile-confirma-la-segunda-mayor-flota-de-buses-electricos-del-mundo/#:~:text=Chile%20sobrepasa%20los%20%20mil%20buses%20el%C3%Agctricos%20en%20el%20sistema,31%25%20de%20la%20flota%20capitalina>.
- 16.12** Informe Técnico de Gestión. Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM)
- 16.13** DS 122 del 18-06-1991: Reglamento que Fija Requisitos Dimensionales y Funcionales a Vehículos que Presten Servicios de Locomoción Colectiva Urbana. Versión 05/04/2023.
- 16.14** Source: <https://toyota-forklifts.es/soluciones/soluciones-energeticas/baterias-de-litio-toyota/>
- 16.15** Source: <https://bmz-group.com/index.php/en/bmz-company/tests-en-2>
- 16.16** Source: <https://dilarce.com/blog/energia/carga-convencional-vs-carga-de-oportunidad/>



WW.CIGRE.CL