

INFORME FINAL

**“ESTRATEGIA DE ELECTROMOVILIDAD
PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO EN LA
REGIÓN DE LOS RÍOS**

BIP 40021069

**Proyecto financiado a través del Fondo Nacional de Desarrollo Regional
(FNDR) del Gobierno Regional y su Consejo Regional**

**Estudio ejecutado por
Centro Premio Nobel Mario Molina**

Valdivia, Noviembre 2022

AGRADECIMIENTOS

La presente publicación ha sido elaborada en el marco del proyecto “Estrategia de Electromovilidad para el Transporte Público en la Región de Los Ríos”, financiado a través del Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) del Gobierno Regional y su Consejo Regional. Dentro del proyecto se elaboró una estrategia de transición para la electrificación del transporte público de la región, acorde con los objetivos definidos a nivel nacional y considerando la integración de la operación actual de los servicios dentro de la región.

Agradecemos el apoyo de la Corporación Regional de Desarrollo Productivo, de la Secretaría Regional del Ministerio de transporte, de la Municipalidad de Valdivia y de los operadores de transporte público de la Región de Los Ríos en el desarrollo de las actividades del proyecto.



Región de Los Ríos
GOBIERNO REGIONAL
Corporación Regional de
Desarrollo Productivo



Región de Los Ríos
GOBIERNO REGIONAL



Centro Mario Molina
Investigación & desarrollo

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS	1
ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS	10
ANTECEDENTES DE LA CIUDAD DE VALDIVIA	11
ORGANIZACIÓN Y PERÍMETRO DE EXCLUSIÓN	11
ANTIGÜEDAD, TECNOLOGÍA Y EMISIONES DE LA FLOTA DE BUSES URBANOS	17
DEMANDA DE PASAJEROS EN VALDIVIA	20
TERMINALES E INFRAESTRUCTURA VIAL EN VALDIVIA	25
MODELO DE GESTIÓN Y FINANCIAMIENTO	25
MODELOS DE GESTIÓN Y NEGOCIO EN VALDIVIA.....	26
BARRERAS Y RIESGOS PARA VALDIVIA	31
ESTADO NORMATIVO ACTUAL EN BUSES E INFRAESTRUCTURA DE VALDIVIA	37
NORMAS EN BUSES EN VALDIVIA, REGIÓN SUR.....	37
RECORRIDOS DE LA CIUDAD DE VALDIVIA CON POTENCIALIDAD DE SER ELECTRIFICADOS	39
METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA DETERMINACIÓN DE RUTAS CON POTENCIAL DE SER ELECTRIFICADAS.....	40
RESULTADOS PARA VALDIVIA	53
CARACTERIZACIÓN DE LA OPERACIÓN.....	53
ANÁLISIS GENERAL ESTADO DE TERMINALES EN RUTAS ESTUDIADAS	69
ANÁLISIS ECONÓMICO MEDIANTE ANÁLISIS DE COSTOS TOTALES (TCO)	74
RECOMENDACIONES PARA UN PRIMER PILOTO DE BUS ELÉCTRICO Y CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE ELECTROTERMINALES	77
RECOMENDACIONES PARA LA REALIZACIÓN DE UN PILOTO REAL CON BUS ELÉCTRICO.	78
RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS ELECTROTERMINALES.....	83
ESTÁNDARES Y NORMATIVAS PARA INFRAESTRUCTURA Y BUSES ELÉCTRICOS	87
NORMATIVA Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS EN BUSES ELÉCTRICOS EN EL ESTÁNDAR RED	87
REQUERIMIENTOS PARA INFRAESTRUCTURA DE CARGA	91
EJEMPLOS DE TERMINALES CON ESTÁNDAR RED	110
PROPUESTA DE INCORPORACIÓN DE MOVILIDAD ELÉCTRICA EN LOS RECORRIDOS DE VALDIVIA	111
MODELO DE INCORPORACIÓN DE OPERADORES AL DESPLIEGUE DE BEBS	112
RECOMENDACIONES Y OPORTUNIDADES PARA EL DESPLIEGUE DE BEBS	114
HOJA DE RUTA PARA LA ELECTRIFICACIÓN	121
RECOMENDACIONES PARA UN PRIMER PILOTO DE BUS ELÉCTRICO PARA VALDIVIA.....	123
CONFERENCIAS Y LANZAMIENTO PÚBLICO DE ESTRATEGIA DE ELECTROMOVILIDAD EN VALDIVIA...132	

REUNIONES CON ACTORES CLAVES Y ESPACIOS DE INTERCAMBIO.....	132
REUNIÓN CON ENEL X.....	134
REUNIÓN CON SAESA INNOVA.....	135
REUNIÓN CON COPEC VOLTEX	136
REUNIÓN CON DTPR	137
REUNIÓN CON OPERADORES	138
EVENTO DE CIERRE	139
ACCIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE ELECTROMOVILIDAD PARA TRANSPORTE PÚBLICO MAYOR DE LOS RÍOS	152
CONCLUSIONES.....	154
REFERENCIAS	159
ANEXO	162
LINEAS ACTUALMENTE OPERATIVAS EN VALDIVIA.....	162
TERMINALES DE LÍNEAS OPERATIVAS	171

Índice de figuras

FIGURA 1: DISTRIBUCIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO, BUSES Y TAXIS COLECTIVO, EN VALDIVIA. FUENTE: REGISTRO NACIONAL DE SERVICIOS DE TRANSPORTE DE PASAJEROS - SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES; FEBRERO DEL 2021.....	12
FIGURA 2: PLANO DEL PERÍMETRO DE EXCLUSIÓN DE VALDIVIA.....	16
FIGURA 3: ANTIGÜEDAD DE BUSES URBANOS	18
FIGURA 4: TECNOLOGÍA DE LA FLOTA DE BUSES URBANO REGIÓN DE LOS RÍOS.	18
FIGURA 5. MACROZONAS DE VALDIVIA. (FUENTE: TRASA INGENIERÍA (2014)).....	22
FIGURA 6. PROPORCIÓN DE PASAJEROS POR TIPO DE DÍA Y SEGÚN LÍNEA. (FUENTE: DTPR, 2018)	23
FIGURA 7. PERFIL DE PASAJEROS PROMEDIO SEGÚN HORA. (FUENTE: DTPR, 2018)	23
FIGURA 8. CONTEO DE PASAJEROS, SEPARACIÓN SEGÚN RANGO DE HORARIOS, Y POR LÍNEA. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA) 24	
FIGURA 9. PROCEDIMIENTO GENERAL PARA EL ANÁLISIS DE RUTAS Y LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE SER INCLUIDAS. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	40
FIGURA 10. MAPA CON GEORREFERENCIAS DE LAS RUTAS ESTUDIADAS EN VALDIVIA. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE SEREMI DEL MTT).....	41
FIGURA 11. PROCEDIMIENTO UTILIZADO EN VALDIVIA PARA LA OBTENCIÓN DE LOS PERFILES DE VELOCIDAD, ALTITUD Y PENDIENTE. (FUENTE: DE AUTORÍA, CMMOLINA)	45
FIGURA 12. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL DISEÑO DE BUSES VIRTUALES Y MODELACIÓN DE PERFILES. (FUENTE: DE AUTORÍA, CENTRO MARIO MOLINA)	47
FIGURA 13. PRINCIPALES ASPECTOS CONSIDERADOS PARA LA SELECCIÓN DE BUSES ELÉCTRICOS.	48
FIGURA 14. GRÁFICA DE CAJA PARA VALORES DE RPA, $P95th[v \cdot a + i]$ Y VELOCIDADES MEDIAS AGRUPADOS POR RANGO DE HORARIO.	54
FIGURA 15. GRÁFICA DE CAJA PARA VALORES DE RPA, $P95th[v \cdot a + i]$ Y VELOCIDADES MEDIAS PARA CADA RUTA.	56
FIGURA 16. MAPAS DE LAS RUTAS 4T RETORNO, 22 Y 3.	57

FIGURA 17. PERFIL DE VELOCIDAD, PENDIENTE Y ALTITUD PARA LA RUTA 1, HORARIO AM.	58
FIGURA 18. PERFIL DE VELOCIDAD, PENDIENTE Y ALTITUD PARA LA RUTA 1T, HORARIO PM.	59
FIGURA 19. PERFIL DE VELOCIDAD, PENDIENTE Y ALTITUD PARA LA RUTA 1T, HORARIO VA.	59
FIGURA 20. CONSUMOS DE ENERGÍA Y AUTONOMÍA AGRUPADOS POR RANGO HORARIO.	60
FIGURA 21. GRÁFICAS DE CAJA DEL CONSUMO DE ENERGÍA Y AUTONOMÍA PARA CADA UNA DE LAS RUTAS.	61
FIGURA 22. RELACIÓN ENTRE EL PARÁMETRO RPA Y EL CONSUMO DE ENERGÍA.	64
FIGURA 23. RELACIÓN ENTRE EL PARÁMETRO $P95th[v \cdot a + i]$ Y EL CONSUMO DE ENERGÍA.....	64
FIGURA 24. CONSUMO DE ENERGÍA AGRUPADOS POR CONDICIÓN DE MODELACIÓN PARA CADA RUTA.	65
FIGURA 25. CONSUMOS DE ENERGÍA PARA CADA RUTA, AGRUPADOS POR CONDICIÓN DE MODELACIÓN Y RANGO HORARIO.	66
FIGURA 26. VALORES DE TCO PARA LAS DISTINTAS LÍNEAS. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	77
FIGURA 27: TOPES EN UN ELECTROTERMINAL (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	86
FIGURA 28: TECHO EN UN ELECTROTERMINAL (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA))	87
FIGURA 29: TIPOS DE CONECTORES DEL MERCADO INTERNACIONAL.	92
FIGURA 30: TIPOS DE CONECTORES MÁS UTILIZADOS SEGÚN SU POTENCIA ELÉCTRICA. (FUENTE: MINISTERIO DE ENERGÍA - PLATAFORMA DE ELECTROMOVILIDAD).....	92
FIGURA 31: RESUMEN PLIEGO 15 (FUENTE: INFRAESTRUCTURA PARA LA RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS. MINISTERIO DE ENERGÍA).....	93
FIGURA 32. MODO 1 Y 2 DE CONEXIÓN ENTRE VE Y RED. (FUENTE: SEC)	105
FIGURA 33. MODO 3 DE SISTEMA DE CARGA PARA VE. (FUENTE: SEC)	105
FIGURA 34. MODO 4 DE SISTEMA DE CARGA PARA VE. (FUENTE: SEC)	106
FIGURA 35. SEÑALÉTICA QUE DEBE CONTAR EL IRVE. LA ALTURA (H), CORRESPONDE A UN VALOR EN EL RANGO 1.8 Y 2.0 M. (FUENTE: SEC)	107
FIGURA 36. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN EN EL PROCESO DE CARGA DE UN VE. (FUENTE: ELAADNL).....	109
FIGURA 37. ELECTROTERMINAL PEÑALOEN DE METBUS. (FUENTE: ENEL).....	110
FIGURA 38. ELECTROTERMINAL EL CONQUISTADOR. (FUENTE: COPEC VOLTEX).....	111
FIGURA 39: MODELO DE GESTIÓN TRADICIONAL CON OPERADOR NO ESTATAL.	115
FIGURA 40: MODELO DE GESTIÓN CON ARRIENDO DE ACTIVOS.	116
FIGURA 41: MODELO DE GESTIÓN CON PROPIEDAD Y OPERACIÓN SEPARADOS.....	117
FIGURA 42: METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE UNA HOJA DE RUTA. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	121
FIGURA 43. CRONOGRAMA DE ELECTRIFICACIÓN PARA LA HOJA DE RUTA. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	122
FIGURA 44. VALORES DE TCO PARA LAS DISTINTAS LÍNEAS. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	129
FIGURA 45. RECORRIDO DE LA LÍNEA 22.....	131
FIGURA 46. TERMINAL Y PARADERO DE LA LÍNEA 22.	131
FIGURA 47: REUNIÓN ESTRATEGIA DE MOVILIDAD TRANSPORTE PÚBLICO PARA VALDIVIA	133
FIGURA 48: REUNIÓN DISTRIBUIDORES DE ENERGÍA ELECTROMOVILIDAD (ENEL X).....	134
FIGURA 49: REUNIÓN PRESENCIAL DISTRIBUIDORES DE ENERGÍA ELECTROMOVILIDAD (ENEL X).....	135
FIGURA 50: REUNIÓN DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELECTROMOVILIDAD (SAESA).....	136
FIGURA 51: REUNIÓN CON ENTIDADES GUBERNAMENTALES EN RELACIÓN A LA ESTRATEGIA DE ELECTROMOVILIDAD.....	137
FIGURA 52: REUNIÓN CON OPERADORES EN EL MARCO DE LA ESTRATEGIA DE ELECTROMOVILIDAD.....	138
FIGURA 53: REUNIÓN CON OPERADORES EN EL MARCO DE LA ESTRATEGIA DE ELECTROMOVILIDAD.....	138
FIGURA 54: PRESENTACIÓN DE LA ELECTROMOVILIDAD EN AMÉRICA LATINA CON RESPECTO A LAS LECCIONES APRENDIDAS Y DESAFÍOS FUTUROS.	141

FIGURA 55: CAMBIOS ESTRUCTURALES EN PRESENTACIÓN LA ELECTROMOVILIDAD EN AMÉRICA LATINA CON RESPECTO A LAS LECCIONES APRENDIDAS Y DESAFÍOS FUTUROS.	141
FIGURA 56: CARACTERIZACIÓN DEL MODELO DE NEGOCIO EN PRESENTACIÓN LA ELECTROMOVILIDAD EN AMÉRICA LATINA CON RESPECTO A LAS LECCIONES APRENDIDAS Y DESAFÍOS FUTUROS.	142
FIGURA 57: LECCIONES Y DESAFÍOS EN PRESENTACIÓN LA ELECTROMOVILIDAD EN AMÉRICA LATINA CON RESPECTO A LAS LECCIONES APRENDIDAS Y DESAFÍOS FUTUROS.	142
FIGURA 58: LECCIONES Y DESAFÍOS EN PRESENTACIÓN LA ELECTROMOVILIDAD EN AMÉRICA LATINA CON RESPECTO A LAS LECCIONES APRENDIDAS Y DESAFÍOS FUTUROS.	143
FIGURA 59: PRESENTACIÓN ELECTROMOVILIDAD EN REGIONES. DTPR.....	144
FIGURA 60: PRESENTACIÓN ELECTROMOVILIDAD EN REGIONES. DTPR.....	144
FIGURA 61: PRESENTACIÓN ELECTROMOVILIDAD EN REGIONES. DTPR.....	145
FIGURA 62: PRESENTACIÓN ELECTROMOVILIDAD EN REGIONES. DTPR.....	145
FIGURA 63: PRESENTACIÓN AGENDA EVENTO DE CIERRE ESTRATEGIA DE ELECTROMOVILIDAD EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS REALIZADO EN LA CARPA CECS, VALDIVIA.	146
FIGURA 64: PRESENTACIÓN ESTRATEGIA DE ELECTROMOVILIDAD EN EVENTO DE CIERRE.....	146
FIGURA 65: PRESENTACIÓN ESTRATEGIA DE ELECTROMOVILIDAD EN EVENTO DE CIERRE.....	147
FIGURA 66: ACTORES IMPORTANTES PRESENTES EN EL EVENTO DE CIERRE DE LA ESTRATEGÍA DE ELECTROMOVILIDAD.....	147
FIGURA 67: PANEL: ELECTROMOVILIDAD EN LOS RÍOS.	148
FIGURA 68: PANEL: ELECTROMOVILIDAD EN LOS RÍOS	148
FIGURA 69: PANEL: ELECTROMOVILIDAD EN LOS RÍOS	149
FIGURA 70: PANEL: EL ROL DE LAS EMPRESAS DE ELECTRICIDAD EN LA ELECTROMOVILIDAD EN CHILE.	149
FIGURA 71: PANEL: EL ROL DE LAS EMPRESAS DE ELECTRICIDAD EN LA ELECTROMOVILIDAD EN CHILE.	150
FIGURA 72: PÚBLICO PRESENTE EN EL EVENTO DE CIERRE.	150
FIGURA 73: PRESENTACIÓN SOBRE EL FUTURO DE LA ELECTROMOVILIDAD EN REGIONES.....	151
FIGURA 74. VALORES DE TCO PARA LAS DISTINTAS LÍNEAS. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	157
FIGURA 75: METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE UNA HOJA DE RUTA. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	158
FIGURA 76: RECORRIDO LÍNEA 1 (FUENTE: GOOGLE EARTH).....	162
FIGURA 77: RECORRIDO LÍNEA 2 (FUENTE: GOOGLE EARTH).....	163
FIGURA 78: RECORRIDO LÍNEA 3 (FUENTE: GOOGLE EARTH)	164
FIGURA 79: RECORRIDO LÍNEA 4 (FUENTE: GOOGLE EARTH).....	165
FIGURA 80: RECORRIDO LÍNEA 5 (FUENTE: GOOGLE EARTH).....	166
FIGURA 81: RECORRIDO LÍNEA 9 (FUENTE: GOOGLE EARTH)	167
FIGURA 82: 41 RECORRIDO LÍNEA 11 (FUENTE: GOOGLE EARTH)	168
FIGURA 83: RECORRIDO LÍNEA 20 (FUENTE: GOOGLE EARTH)	169
FIGURA 84: 42 RECORRIDO LÍNEA 22 (FUENTE: GOOGLE EARTH)	170
FIGURA 85: VISTA SUPERIOR TERMINAL LÍNEA 1 (FUENTE: GOOGLE MAPS).....	171
FIGURA 86: ENTRADA TERMINAL LÍNEA 1 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	172
FIGURA 87: VISTA ENTRADA TERMINAL LÍNEA 1 (FUENTE: GOOGLE MAPS).....	172
FIGURA 88: VISTA SUPERIOR TERMINAL LÍNEA 2 (FUENTE: GOOGLE MAPS).....	173
FIGURA 89: ENTRADA TERMINAL LÍNEA 2 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	173
FIGURA 90: VISTA ENTRADA TERMINAL LÍNEA 2 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	174
FIGURA 91: VISTA ENTRADA TERMINAL LÍNEA 2 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	174
FIGURA 92: VISTA SUPERIOR TERMINAL LÍNEA 3 (FUENTE: GOOGLE MAPS).....	175

FIGURA 93: ENTRADA TERMINAL LÍNEA 3 (FUENTE: GOOGLE MAPS).....	175
FIGURA 94: VISTA ENTRADA TERMINAL LÍNEA 3 (FUENTE: GOOGLE MAPS).....	176
FIGURA 95: VISTA SUPERIOR TERMINAL LÍNEA 4 (FUENTE: GOOGLE MAPS).....	176
FIGURA 96: ENTRADA TERMINAL LÍNEA 4 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	177
FIGURA 97: VISTA LATERAL ENTRADA TERMINAL LÍNEA 4 (FUENTE: GOOGLE MAPS).....	177
FIGURA 98: VISTA SUPERIOR TERMINAL LÍNEA 5 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	178
FIGURA 99: ENTRADA TERMINAL LÍNEA 5 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	178
FIGURA 100: ENTRADA TERMINAL LÍNEA 5 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	179
FIGURA 101: VISTA LOZA TERMINAL LÍNEA 5 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	179
FIGURA 102: VISTA SUPERIOR TERMINAL LÍNEA 9 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	180
FIGURA 103: ENTRADA TERMINAL LÍNEA 9 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	180
FIGURA 104: LOZA TERMINAL LÍNEA 9 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	181
FIGURA 105: ENTRADA TERMINAL LÍNEA 11 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	181
FIGURA 106: VISTA SUPERIOR TERMINAL LÍNEA 20 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	182
FIGURA 107: ENTRADA TERMINAL LÍNEA 20 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	182
FIGURA 108: ENTRADA TERMINAL LÍNEA 20 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	183
FIGURA 109: PARADERO LÍNEA 22 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	183
FIGURA 110: VISTA SUPERIOR TERMINAL LÍNEA 22 (FUENTE: GOOGLE MAPS)	184
FIGURA 111: VISTA SUPERIOR TERMINAL LÍNEA LX ELC (FUENTE: GOOGLE MAPS)	184
FIGURA 112: ENTRADA TERMINAL LÍNEA LX ELC (FUENTE: GOOGLE MAPS).....	185
FIGURA 113: VISTA LOZA TERMINAL LÍNEA LX ELC (FUENTE: GOOGLE MAPS).....	185

Índice de tablas

TABLA 1: OPERADORES URBANOS. FUENTE: REGISTRO NACIONAL DE SERVICIOS DE TRANSPORTE DE PASAJEROS - SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES; FEBRERO DEL 2021.	13
TABLA 2. SERVICIO ADICIONAL RURAL DENTRO DEL RADIO URBANO DE VALDIVIA.....	14
TABLA 3: COORDENADAS GEOGRÁFICAS WGS84 DEL PERÍMETRO DE EXCLUSIÓN Y RADIO URBANO DE VALDIVIA.....	16
TABLA 4: LÍMITES MÁXIMOS DE VELOCIDAD ENTRE PUNTOS DE CONTROL EN EL PERÍMETRO DE EXCLUSIÓN DE VALDIVIA.....	16
TABLA 5: MONTOS DE SUBSIDIO POR OPERADOR O UNIDAD DE NEGOCIO.....	17
TABLA 6: INVENTARIO DE EMISIÓN BUSES URBANOS DEL TRANSPORTE PÚBLICO REGIÓN DE LOS RÍOS (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	20
TABLA 7. RESUMEN DE LA INFORMACIÓN POR RUTA. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	25
TABLA 8: DISTRIBUCIÓN POR TIPO DE PASAJERO EN LA SEMANA.	27
TABLA 9: BARRERAS PARA LA ELECTRIFICACIÓN DEL TRANSPORTE EN VALDIVIA. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	32
TABLA 10: RIESGOS DE LA ELECTRIFICACIÓN DEL TRANSPORTE EN VALDIVIA. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	34
TABLA 11: SUMARIO ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BUSES EN PERÍMETRO DE EXCLUSIÓN DE VALDIVIA. (FUENTE: ELABORACIÓN CON INFORMACIÓN DE LA DTPR)	37
TABLA 12. ESCENARIOS CONSIDERADOS EN LA MODELACIÓN. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	41
TABLA 13. NOMBRE DE RUTAS, SU DISTANCIA DE REFERENCIA (IDA Y VUELTA), Y TIEMPO ESTIMADO DE DEMORA PARA ORGANIZAR EL CALENDARIO DE MEDICIONES. (FUENTE: TABLA DE AUTORÍA GENERADA CON LOS DATOS OBTENIDOS.)	42
TABLA 14. RANGOS HORARIOS DE OPERACIÓN PARA VALDIVIA. (FUENTE: TABLA DE AUTORÍA GENERADA POR EL CMMOLINA) .	43

TABLA 15. BUSES ELÉCTRICOS CORTOS (LARGO MENORES A 10 M) DISPONIBLES EN EL MERCADO DE LATINO AMÉRICA. (FUENTE: TABLA DE AUTORÍA GENERADA POR CMM)	44
TABLA 16. COMPARACIÓN DEL NIVEL DE PAVIMENTACIÓN DE LAS CALLES ENTRE LA CIUDAD DE VALDIVIA Y SANTIAGO. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DEL MOP.)	49
TABLA 17. COMPARACIÓN ENTRE PRUEBAS LABORATORIO 3CV Y SIMULACIÓN PARA UN BUS VIRTUAL. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	51
TABLA 18. VALORES UTILIZADOS EN MODELO VIRTUAL DEL BUS BUS A. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	51
TABLA 19. CONDICIONES PARA CALIBRACIÓN. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	52
TABLA 20. RESULTADOS DE CALIBRACIÓN, COMPARADO CON MEDICIONES EN 3CV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	52
TABLA 21. VALORES DE RPA, $P_{95th}[v \cdot a + i]$ Y VELOCIDADES MEDIAS AGRUPADAS POR RANGO HORARIO.	54
TABLA 22. VALORES DE RPA, $P_{95th}[v \cdot a + i]$ Y VELOCIDADES MEDIAS EN DETALLE PARA CADA RUTA, AGRUPADA POR RANGO HORARIO	55
TABLA 23. VALORES PROMEDIO, MÁXIMOS, MÍNIMOS Y DESVIACIONES ESTADÍSTICAS DE CONSUMO ELÉCTRICO Y AUTONOMÍA AGRUPADOS POR RANGO HORARIO	61
TABLA 24. VALORES PROMEDIO, MÁXIMOS, MÍNIMOS Y DESVIACIONES ESTADÍSTICAS DE CONSUMO ELÉCTRICO, AUTONOMÍA Y NÚMERO DE VUELTAS PARA CADA RUTA.	62
TABLA 25. VALORES ESTADÍSTICOS DEL CONSUMO DE ENERGÍA (KWH/KM), SEGÚN CONDICIÓN DE MODELACIÓN.	65
TABLA 26. CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO DE KPI'S.	67
TABLA 27. VALORES DE KPI'S PARA CADA UNA DE LAS RUTAS.	67
TABLA 28. PUNTUACIONES PARA LA SELECCIÓN DE LAS RUTAS CON MAYOR POTENCIAL DE ELECTRIFICACIÓN.	68
TABLA 29. CARACTERÍSTICAS DEL BUS Y CONSIDERACIONES DE OTROS PARÁMETROS.	72
TABLA 30. CONSIDERACIONES PARA EL ESCENARIO 3.	72
TABLA 31. ESCENARIO 1, DEMANDA ENERGÉTICA Y POTENCIA REQUERIDA PARA FLOTA CON FRECUENCIA PROMEDIO DE 10 MIN, DONDE DE ES LA DESVIACIÓN ESTADÍSTICA. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	73
TABLA 32: ESCENARIO 2, DEMANDA ENERGÉTICA Y POTENCIA REQUERIDA PARA FLOTA CON FRECUENCIA PROMEDIO DE 15 MIN. DONDE DE ES LA DESVIACIÓN ESTADÍSTICA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	73
TABLA 33. PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO.(FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	74
TABLA 34. VALORES DE COSTOS Y CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	75
TABLA 35 ANÁLISIS DE RUTA PARA NÚMERO DE CARGADORES PARA BUS TIPO A (FUENTE: CMM)	84
TABLA 36: EXTRACTO DE REQUISITOS TÉCNICOS DE ESTÁNDAR RED. (FUENTE: ELABORACIÓN CON INFORMACIÓN DE LA DTPR)	88
TABLA 37. REQUERIMIENTOS DE UN BUS ELÉCTRICO. (FUENTE: SEC)	89
TABLA 38. REQUERIMIENTOS PARA SISTEMAS DE CARGA. (FUENTE: SEC)	89
TABLA 39: REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LA INFRAESTRUCTURA DE CARGA (FUENTE: CMM)	94
TABLA 40. RESUMEN DE LOS MODOS DE CARGA Y CONEXIÓN. (FUENTE: SEC)	103
TABLA 41. MODOS DE CONEXIÓN ENTRE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y CARGADORES. (FUENTE: SEC)	103
TABLA 42. RANGOS DE POTENCIA Y FACTOR DE DEMANDA PARA ELECTROTERMINALES Y ELECTROLINERAS. (FUENTE: SEC)	104
TABLA 43. RESUMEN DE LOS MODOS DE CARGA Y SUS CARACTERÍSTICAS. (FUENTE: SEC, MIN. ENERGÍA)	106
TABLA 44: CARACTERÍSTICAS DE ELECTROTERMINALES Y ELECTROLINERAS.	108
TABLA 45: PROCESOS DE LICITACIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO PREVISTOS PARA LOS AÑOS 2021-2022.	112
TABLA 46. PUNTAJES OBTENIDOS PARA CADA RUTA. MÁS DETALLE INFORME 4. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	129
TABLA 47 AGENDA EVENTO DE CIERRE ESTRATEGÍA DE ELECTROMOVILIDAD EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS	139
TABLA 48. DISTANCIAS DE RECORRIDO Y NÚMERO DE BUSES DE LA LÍNEA 1T (FUENTE: CMM)	162

TABLA 49. DISTANCIAS DE RECORRIDO Y NÚMERO DE BUSES DE LA LÍNEA 2. (FUENTE: CMM)	163
TABLA 50. DISTANCIAS DE RECORRIDO Y NÚMERO DE BUSES DE LA LÍNEA 3. (FUENTE: CMM)	164
TABLA 51. DISTANCIAS DE RECORRIDO Y NÚMERO DE BUSES DE LA LÍNEA 4. (FUENTE: CMM)	165
TABLA 52. DISTANCIAS DE RECORRIDO Y NÚMERO DE BUSES DE LA LÍNEA 5. (FUENTE: CMM)	166
TABLA 53. DISTANCIAS DE RECORRIDO Y NÚMERO DE BUSES DE LA LÍNEA 11. (FUENTE: CMM)	168
TABLA 54. DISTANCIAS DE RECORRIDO Y NÚMERO DE BUSES DE LA LÍNEA 20T. (FUENTE: CMM)	169
TABLA 55. DISTANCIAS DE RECORRIDO Y NÚMERO DE BUSES DE LA LÍNEA 22. (FUENTE: CMM)	170
TABLA 56. RESUMEN DE LA INFORMACIÓN POR RUTA. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	170

INTRODUCCIÓN

El documento comienza con un resumen de la recopilación de antecedentes, en donde se caracteriza la flota, la organización del transporte público en la ciudad de Valdivia, la identificación de las principales fuentes de financiamiento, se mencionan los aspectos normativos, y se identifican barreras y riesgos asociados a la ciudad que dificultarían la introducción de BEBs.

Posteriormente se realiza una caracterización de las tecnologías “cero emisión” disponibles en el mercado local, la identificación y diseño de los recorridos con mayor potencial de éxito para el despliegue de la tecnología y la definición y gestión de soluciones que permitan resolver los problemas de financiamiento a mediano plazo para el despliegue comercial de la electromovilidad en el transporte público de la Región de los Ríos. Esto se realizó mediante la medición de GPS de las rutas de transporte público mayor de la ciudad, junto con la construcción de un modelo virtual de buses, calibrado a partir de datos del Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV). En conjunto, esta información permite estimar los rendimientos energéticos de los buses de transporte público con lo que es posible determinar el potencial de las rutas de ser electrificadas. Esto se identifica a través de algunos indicadores claves de desempeño (KPIs por sus siglas en inglés), tales como la autonomía del bus eléctrico, la distancia de operación para cada ruta, el número de vueltas que el bus puede dar, dado un recorrido y la cantidad de pasajeros que utilizó determinada ruta. Esto a su vez permite realizar una serie de recomendaciones para un piloto real con un bus eléctrico.

Por otra parte, la incorporación de tecnología eléctrica a la flota de buses plantea retos importantes desde la planificación y operación de los vehículos teniendo en cuenta variables como la autonomía de los buses, el tiempo de carga, el tipo de estrategia de carga empleada, entre otros. Es por lo anterior que se realiza una revisión de las especificaciones técnicas de estos vehículos y sobre los estándares actuales que se exigen tanto a buses eléctricos como electroterminales.

En el siguiente punto se hace una propuesta para la introducción de buses eléctricos, donde se busca indagar en dos lineamientos estratégicos incluidos como parte de las actividades desarrolladas durante el curso de la consultoría. El primero es un enfoque explícito dentro de la estrategia de electromovilidad que consiste en trabajar en la incorporación de buses eléctricos a las actuales operaciones (servicios) de transporte público urbano de la comuna de Valdivia. El segundo lineamiento es que el desarrollo de pilotos de electromovilidad debe ir acompañado de un diseño y seguimiento de indicadores de desempeño para que los resultados de esta experiencia sirvan para validar análisis previos y reducir el riesgo tecnológico y operacional de esta tecnología. Esto incluye un enfoque en capacitar a personal clave de servicio y operación de buses y cargadores. En línea con esto, el actual informe busca detallar una propuesta de incorporación de movilidad eléctrica en los recorridos del transporte público mayor de Valdivia

al igual que aportar con recomendación para un primer piloto de buses eléctricos a batería en la misma ciudad.

Finalmente, se hace un resumen de los alcances de esta consultoría mediante la realización de talleres y conferencias para la divulgación de estos resultados y la generación de espacios de trabajo.

OBJETIVOS

Para realizar una correcta estrategia es necesario formular objetivos abordados en los distintos informes a entregar. En particular, para este reporte, se destacan aquellos planteados y resueltos.

- Desarrollar una estrategia (plan estratégico) para el despliegue de la Electromovilidad en el transporte público mayor de la Región de los Ríos.
- Caracterizar el consumo energético e impacto ambiental del transporte público en Los Ríos.
- Evaluación técnica y económica del sistema de transporte público mayor de Los Ríos e identificación de recorridos con mayor potencial de electrificación y estimación de costos.
- Elaborar una estrategia pública-privada que permita viabilizar la movilidad eléctrica en el transporte público de la ciudad de Valdivia y otras comunas de la Región.
- Difundir los resultados obtenidos del presente proyecto en una serie de seminarios y/o talleres resaltando las mejores prácticas a seguir para el despliegue de la movilidad eléctrica en el transporte público en regiones.

ANTECEDENTES DE LA CIUDAD DE VALDIVIA

A diferencia de la región metropolitana, las regiones presentan, por lo común, un importante déficit de estrategias para impulsar la electromovilidad que permitan la conjugación de esfuerzos y actores que consoliden una red para recopilar información, mejorar los mecanismos de adquisición y mejoramiento tecnológico de buses y junto con esto, establecer mejores normativas y estándares.

En el caso de la ciudad de Valdivia, a pesar de que han existido diversas iniciativas tales como concurso de taxis colectivos, impuesto verde a los vehículos motorizados basados en combustión, reducción del permiso de circulación a vehículos híbridos, entre otras. En general, ha existido un bajo incentivo para el despliegue de la movilidad eléctrica, y estas iniciativas no han tenido el impacto esperado.

De manera global, el problema puede atribuirse a la falta de estandarización y normativa, así como también la falta de canales que permitan una comunicación entre los operadores, proveedores de buses, las identidades encargadas de regular el transporte y los distintos actores privados y públicos, lo que conduce a una falta de capacidades en temas de electrificación de buses y falta de una respuesta rápida frente a nuevas oportunidades que está ofreciendo en los últimos años en torno al transporte, producto del acelerado cambio tecnológico.

Uno de los factores claves es también el hecho del costo inicial asociado a los vehículos basados en baterías. Si bien estos vehículos son más eficientes, el ahorro en eficiencia energética no compensa el costo inicial que requiere la inversión cuando la distancia de operación no es la suficiente; en este aspecto, las garantías entorno a la batería, así como el monitoreo de la operación es clave. En este contexto, el transporte público es un objetivo estratégico pues dada la magnitud de la operación y distancias de recorrido, el costo inicial de inversión se vería, con una apropiada estrategia, rápidamente amortiguada por el ahorro en la operación.

Organización y Perímetro de Exclusión

Transporte Público Mayor

En la ciudad de Valdivia, del total de vehículos de tipo taxi colectivo y bus (o taxibus) que pertenecen al transporte público de la ciudad, los buses representan un 40% del total lo que equivale a 542 máquinas; de estas, 325 o el 60% pertenecen al servicio urbano. La Figura 1 muestra la distribución de buses y taxis colectivos del transporte público en Valdivia, segregado en servicio urbano y rural, según los datos obtenidos del Registro Nacional de Servicios de Transporte de Pasajeros de la Subsecretaría de Transportes (febrero del 2021).

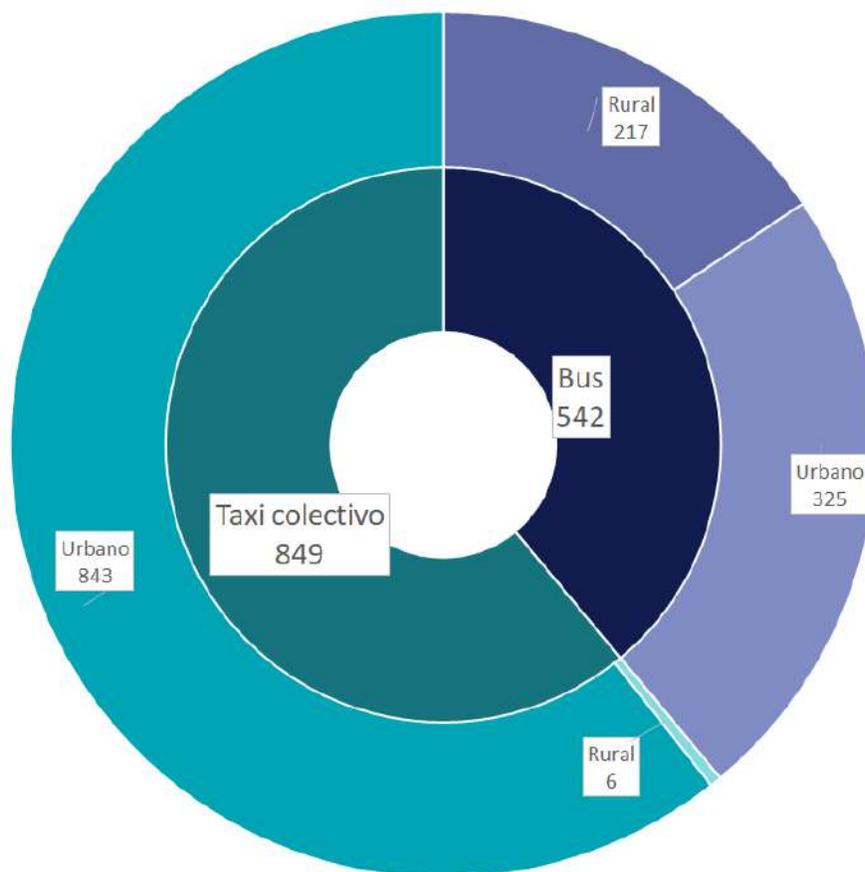


Figura 1: Distribución del transporte público, buses y taxis colectivo, en Valdivia. Fuente: Registro Nacional de Servicios de Transporte de Pasajeros - Subsecretaría de Transportes; febrero del 2021.

Según el estudio encargado por SECTRA el 2017¹, de los viajes de transporte público realizados por taxibuses y taxis colectivos, los primeros realizan el 48% del total de viajes. En este estudio, se observa que esta cifra representa una disminución con respecto a la cantidad de viajes hechos en 2002 por taxibuses y que esto se debe a que el servicio de taxis colectivos es mejor al tener mayor cobertura, velocidad y menor antigüedad de sus vehículos. Sin embargo, se destaca que el taxibus es más eficiente en el consumo de recursos y congestiona menos las vías. También se destaca que la antigüedad promedio de los taxibuses ha ido disminuyendo gracias a los programas del MTT para modernizar la flota. Un estudio de la DTPR del 2014² tiene observaciones similares con respecto a la diferencia de calidad entre los servicios ofrecidos por taxibuses y taxis colectivos, destacando que “por un 11% más de tarifa, los taxis colectivos dejan prácticamente en la puerta de su casa a los usuarios”, pero son menos eficientes y generan congestión.

¹ SECTRA, «Actualización Plan de Transporte de Valdivia y Desarrollo de Anteproyecto, Etapa II,» 2017.

² DTPR, «Plan de Transporte Público Regional: Región de Los Ríos,» 2014.

En el transporte público mayor, esto es buses y/o taxibuses, existen nueve operadores, de los cuales siete son empresas de sociedades anónimas, una sociedad por acciones y una sociedad anónima cerrada. Cada empresa opera una línea distinta del servicio, siendo la línea 20 la única con una variante al servicio troncal que es operada por la misma empresa. Cada operador es dueño de su terminal, donde se almacenan los buses mientras no están en servicio.

El tamaño de las flotas varía entre 12 a 74 buses, con la mayoría abarcando menos de 50 vehículos, por lo que los operadores pueden ser considerados empresas de tamaño medio. La antigüedad promedio entre todos los operadores es de 10,6 años; la línea 11 tiene la menor antigüedad con 7,5 años y la línea 22, la mayor, con 13,5 años; los otros operadores están más cercanos al promedio. En cuanto a la capacidad de las máquinas, los promedios de las flotas son bastantes homogéneos con un promedio general de 31,1 pasajeros. Esta información se resume en la Tabla 1 a continuación.

Tabla 1: Operadores urbanos. Fuente: Registro Nacional de Servicios de Transporte de Pasajeros - Subsecretaría de Transportes; febrero del 2021.

Responsable Servicio	Línea	Variante	Flota	Antigüedad promedio	Capacidad promedio
SOCIEDAD DE TRANSPORTES LINEA UNO COLLICO S.A.	1	T	30	9,2	31,5
EMPRESA DE TRANSPORTES LOURDES S.A.	2	T	38	10,2	26,1
TRANSPORTE COMERCIAL LAUREL SUR S.A.	3	T	43	12,7	31,9
EMPRESA DE TRANSPORTE REGIONAL SUR S.A.	4	T	32	11,9	31,1
TRANSPORTES REGIONAL CORVI SPA	5	T	12	11,9	33,2
EMPRESA DE TRANSPORTE DE PASAJEROS RIO CRUCES N° 9 S.A.	9	T	54	9,3	30,6
EMPRESA DE TRANSPORTE DE PASAJEROS SAN PEDRO N°11 S.A.	11	T	30	7,5	30,0
SOCIEDAD DE TRANSPORTES REGIONAL S.A.	20	T	74	9,3	30,9
		V1			
SOCIEDAD ANONIMA CERRADA TRANSPORTES LAS ANIMAS SAC	22	T	12	13,5	35,0

Adicionalmente se tiene un servicio rural que se encuentra dentro del radio urbano de Valdivia definido arriba. El operador de este servicio cuenta con una flota de 32 vehículos, de 7,5 años de antigüedad y 32 pasajeros de capacidad en promedio.

Tabla 2. Servicio adicional rural dentro del radio urbano de Valdivia.

Responsable Servicio	Línea	Variante	Flota	Antigüedad promedio	Capacidad promedio
SINDICATO DE TRAB.INDEP. Y CHOF.MINIBUSES DE LA COSTA	20	T	32	7,5	31,8
		V1			
		V2			
		V3			
		V4			
		V5			

Los operadores definen los recorridos de sus líneas usando criterios económicos. En estudios de la DTPR se observa que, durante el servicio, se realizan pequeñas desviaciones respecto al trazado oficial. La mayoría de las veces ocurre por segmentos de calles que están en mal estado. También se detecta que no se llega siempre al final del recorrido o punto de retorno oficial debido a poca demanda de pasajeros. Con el perímetro de exclusión, los operadores deben definir el trazado oficial en el Programa de Operación cuyo cumplimiento es controlado con un sistema de GPS requerido en las condiciones del perímetro.

Perímetro de Exclusión

El Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT) cuenta con varias herramientas que le permiten ordenar y regular los servicios de transporte público, entre ellas, el perímetro de exclusión definido en el artículo tercero de la **ley N°18.696**. El perímetro de exclusión consiste en un área geográfica en la que se exigen, por un plazo determinado, ciertas condiciones de operación, tarifas, programación vial, antigüedad máxima de vehículos, entre otras condiciones. Adicionalmente, permite implementar subsidios a las tarifas de los servicios que operan dentro del perímetro.

El 26 de septiembre de 2018, por medio de la **resolución exenta N°2.879**, el MTT resuelve implementar un perímetro de exclusión para la ciudad de Valdivia, regulando los servicios de buses y taxibuses urbanos, en el área definida según las coordenadas geográficas expuestas en la Tabla 3. Se tendrán como base las condiciones, requisitos y exigencias señaladas en la Resolución N°130 sobre formato tipo. Adicionalmente, dado el mandato del artículo cuarto transitorio de la ley N°20.696, se convocó a los responsables de los servicios de transporte público de Valdivia a procesos de negociación respecto a definiciones del perímetro.

Como requisito previo a establecer un perímetro de exclusión, el MTT comisionó un informe al Departamento de Tránsito de la o las comunas afectadas y a la Secretaría Ministerial de Transporte correspondiente. En consecuencia, el 21 de septiembre de 2018, la Seremitt de la Región de Los Ríos emitió un informe técnico en cuyo diagnóstico era necesario mejorar el transporte público en materia de cobertura, frecuencia, tarifa, entre otros aspectos. Asimismo, en el Memorándum N°3.817 del 24 de septiembre de 2018, la División de Transporte Público Regional informó su parecer respecto a la pertinencia de los mecanismos y condiciones de mejora de la situación actual del transporte público, además del monto del subsidio y la aplicación de este en la rebaja tarifaria.

La **Resolución N°130/2014 del MTT** (luego modificada por la **Resolución N°2/2016 del MTT**) aprueba un formato tipo para el acto administrativo que establece un perímetro de exclusión. Esto, con el objetivo de facilitar y agilizar la tramitación de estos actos, teniendo en cuenta el tiempo que demoran las negociaciones con operadores y actores del transporte público. Este formato tipo define y reglamenta sobre: Disposiciones generales del perímetro, atribuciones del MTT, derechos y obligaciones del operador; el Programa de Operación (PO) de un servicio (junto a un ejemplo en los anexos); reglamentación de las tarifas y polinomio de reajustabilidad; Terminales, flota y personal de conducción; el sistema de control de cumplimiento del PO, con los requerimientos del sistema de AVL (*Automatic Vehicle Location*), responsabilidades del operador, datos a recopilar, indicadores de cumplimiento e información que se debe enviar al MTT; la metodología para el pago de los subsidios y sanciones, procedimientos y garantías. Estas definiciones, en general, son aplicables a todo perímetro de exclusión. Sin embargo, hay elementos que requieren definiciones específicas al crear un nuevo perímetro, por ejemplo: montos de subsidios, los puntos geográficos que definen el perímetro de exclusión, entre otros. Finalmente, la **resolución N°12/2020** del MTT define las condiciones de operación del perímetro de exclusión para la comuna de Valdivia. Complementando esta resolución, se promulgaron resoluciones exentas adicionales explicadas a continuación.

La **Resolución Exenta N°751/2020** define el radio urbano de la ciudad de Valdivia, cuyos límites están determinados por la unión de los vértices presentados en la Tabla 3 en base al sistema de referencia de coordenadas geográficas WGS84 (coincide con puntos definidos en Resolución Exenta N°2.879). En la Figura 2 se muestra el plano con los puntos que definen el perímetro de exclusión y radio urbano.

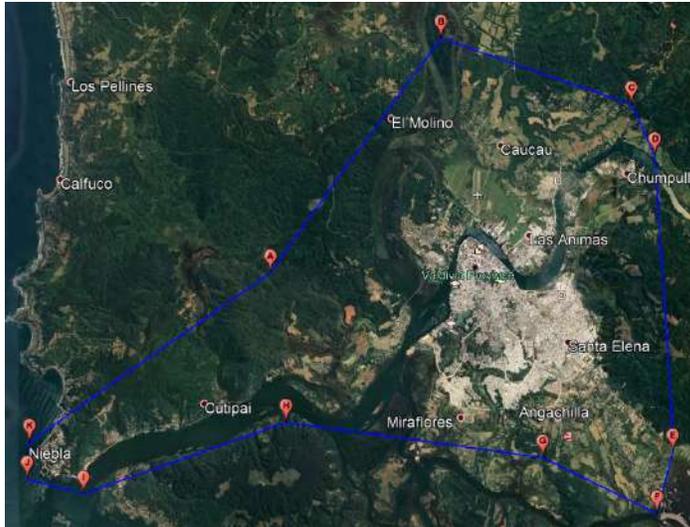


Figura 2: Plano del perímetro de exclusión de Valdivia

Tabla 3: Coordenadas geográficas WGS84 del perímetro de exclusión y radio urbano de Valdivia.

Vértice	Longitud	Latitud
A	-73,316716	-39,818818
B	-73,254929	-39,753473
C	-73,186082	-39,771967
D	-73,177482	-39,786161
E	-73,170835	-39,868768
F	-73,1766	-39,885919
G	-73,21802	-39,870385
H	-73,31097	-39,860454
I	-73,384588	-39,880402
J	-73,404977	-39,876247
K	-73,404089	-39,865998

La **Resolución Exenta N°732/2020** establece los límites máximos de velocidad entre puntos de control, urbanos o rurales, consecutivos (definidos en Resolución 12/2020 del MTT) para los servicios de transporte público regulados, cuyos valores se muestran en la Tabla 4. La velocidad lineal, entre dos puntos, se calcula como la distancia en línea recta entre los puntos, dividido por el tiempo transcurrido, entre ambos controles. La velocidad media, sobre trazado, se calcula como la distancia sobre el trazado, entre ambos puntos, dividido por el tiempo transcurrido.

Tabla 4: Límites máximos de velocidad entre puntos de control en el perímetro de exclusión de Valdivia.

Tipo de velocidad	Tipo de Punto	Valor de Velocidad para Interpolación [km/h]
Lineal	Urbano	72,0
Lineal	Rural	100,8
Sobre Trazado	Urbano	72,0
Sobre Trazado	Rural	100,8

La **Resolución Exenta 724/2021** de la DTPR establece montos de subsidio para operadores de transporte público en las distintas zonas reguladas del país ligado a la rebaja de la tarifa de adulto mayor. Los montos de subsidio a pagar a los operadores de Valdivia se muestran en la Tabla 5. Por su parte, la **Resolución Exenta 149/2021** de la DTPR, establece un mecanismo provisorio de descongelamiento tarifario. Atendiendo a que la Autoridad de Transportes, entre otras medidas,

congeló el reajuste tarifario en las distintas zonas reguladas del país producto del contexto extraordinario que se ha vivido desde octubre de 2019 (primero con el estallido social y luego con la pandemia). Este mecanismo, bajo la idea de “empalme tarifario”, genera un proceso en que la tarifa efectiva progresivamente converge a la tarifa del polinomio de reajustabilidad tarifaria.

Tabla 5: Montos de subsidio por operador o unidad de negocio.

ID	Zona	Unidad de negocio	Monto a pagar [€]
1401	Valdivia	SOCIEDAD DE TRANSPORTES LINEA UNO COLLICO S.A.	20.704.650
1402	Valdivia	EMPRESA DE TRANSPORTES LOURDES S.A.	26.225.890
1404	Valdivia	EMPRESA DE TRANSPORTE REGIONAL SUR S.A.	21.394.805
1406	Valdivia	EMPRESA DE TRANSPORTE DE PASAJEROS RIO CRUCES N°9 S.A.	37.268.370
1407	Valdivia	EMPRESA DE TRANSPORTE DE PASAJEROS SAN PEDRO N°11 S.A.	20.704.650
1408	Valdivia	SOCIEDAD DE TRANSPORTES REGIONAL S.A.	51.071.470

En la **Resolución Exenta 895/2020** del MTT se aprueba el Manual de Norma Gráficas que regula las características internas y externas de los vehículos de transporte público del perímetro de excepción. El manual contiene las especificaciones técnicas para el Sistema de Información Visual (SIV), tanto en el interior y exterior de vehículos, como en paradas y otros espacios públicos. En las especificaciones se abarcan los colores básicos del SIV, la tipografía y pictografías. También, se define el diseño general de la carrocería y los colores específicos para cada línea del servicio. Se definen las especificaciones para los letreros de recorridos (letrero único de recorrido – LUR) con el diseño general y los colores específicos para cada línea. Asimismo, se definen los adhesivos externos con información de las tarifas y los adhesivos internos con información de asiento preferente, salida de emergencia, extintor, entre otros. Además, se define el diseño de la tarjeta de identificación del conductor. Por último, se definen las especificaciones técnicas de la señal de parada (material, dimensiones, ubicación respecto al paradero y sentido del tráfico, diseño gráfico, entre otros).

Antigüedad, tecnología y emisiones de la flota de buses urbanos

Con relación a la antigüedad de la flota de los buses urbanos de la región, la edad promedio es de 9,8 años. En la siguiente figura, se presenta un histograma de frecuencia según los años de fabricación de los vehículos.

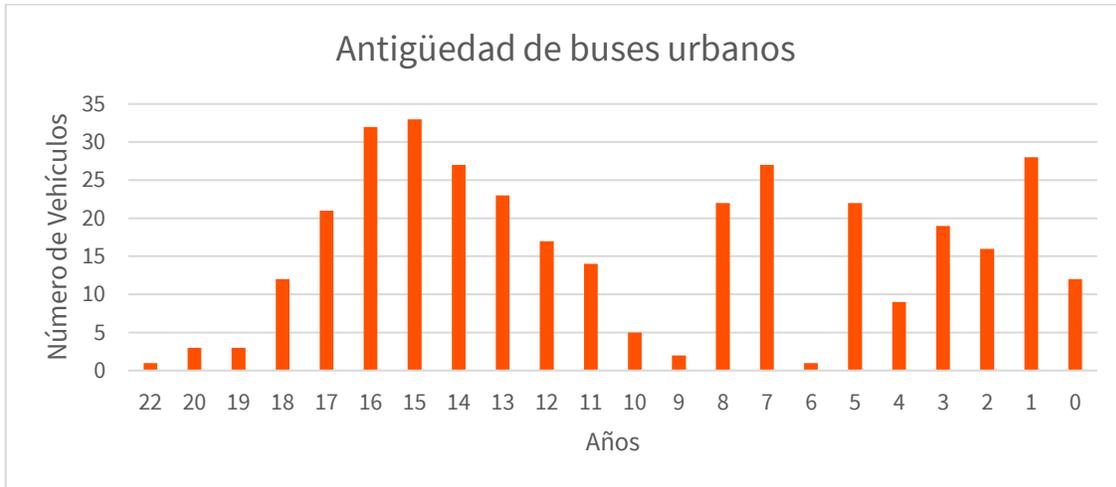


Figura 3: Antigüedad de buses urbanos

Para determinar la tecnología de los buses, se consideró el año de fabricación y la norma de emisión que debería haber cumplido según el DS 55/ 94 del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. Se estima que el 70% de la flota de buses urbanos cumple con un estándar de emisiones menor a Euro IV o EPA 2004. Mientras que el resto de los buses corresponden a un estándar Euro V/EPA 2007. Cabe resaltar que el estándar RED establecido para el transporte público de Santiago, tiene como base tecnológica el estándar Euro VI o mejor (Eléctrico) (DTPM 2019). Sin embargo, un reciente anuncio del MTT ha rebajado el estándar para regiones a Euro V.

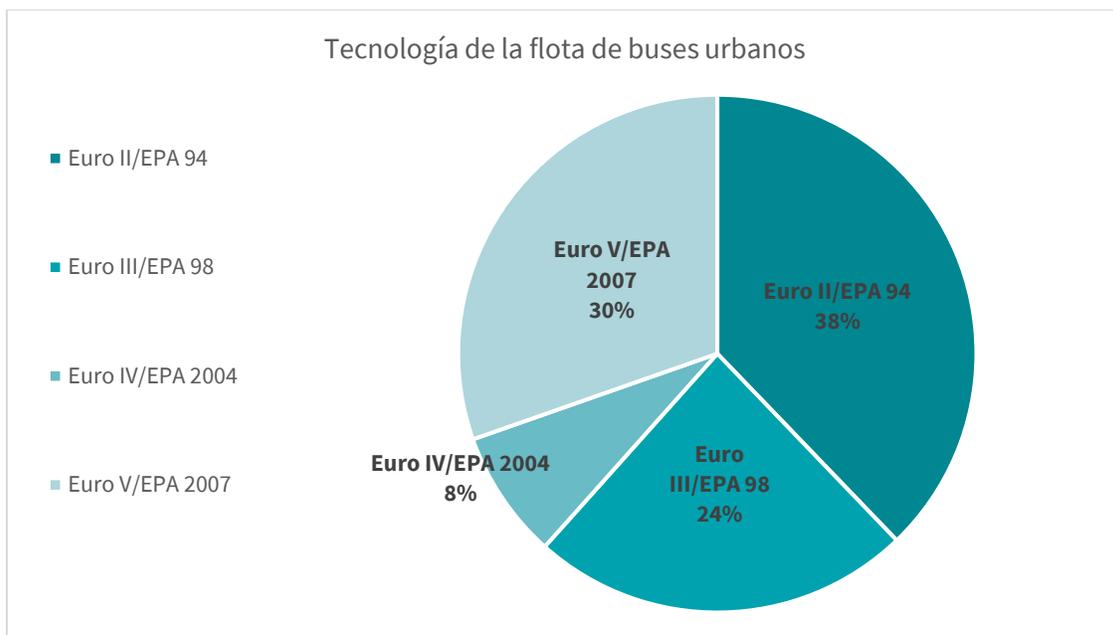


Figura 4: Tecnología de la flota de buses urbano Región de los Ríos.

Inventario de emisiones del transporte urbano.

Las emisiones del inventario son calculadas en base a una función que depende del nivel de actividad de los buses del transporte público y de los factores de emisión de estos. Hay distintos marcos teóricos sobre el cual se fundamenta este tipo de cálculo, pero como referencia se tomó la Guía de inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos de la Agencia Europea de Medio Ambiente (EMEP/EEA 2019). La emisión de un contaminante (E_{cont}) está dado por,

$$E_{cont} \left(\frac{ton}{año} \right) = A \times F_E \times 10^{-6} \left(\frac{km}{año} \times \frac{g}{km} \right)$$

La actividad (A) puede ser, según la calidad de información con la cual se desarrolla el inventario, la frecuencia de buses por la longitud del recorrido o el kilometraje anual del transporte público. Así también los factores de emisión (F_E) pueden corresponder a un tipo de bus en particular o calcular un F_E ponderado por la distribución tecnológica de la flota.

Se consideraron factores de emisión corregidos por la antigüedad del “*Handbook of Emission factors for Road Transport*” (HBEFA 3.3). Debido a que los factores de emisión dependen de la situación de tráfico y tipo de calle, además de la tecnología y tipo de vehículo, se han fijado los siguientes parámetros:

- Área: Urbana
- Situación del tráfico: Pesado
- Calle: Distribuidora
- Promedio de velocidad: 24 km/h
- Velocidad máxima: 50 km/h

El nivel de actividad se determinó considerando 200 km/día por 365 días. Como ya hemos dicho, durante el transcurso del proyecto se podrá verificar la información operacional de los servicios de buses urbanos en Valdivia. En un primer acercamiento, representantes del gremio mencionaron que el km/día era entre 200 y 300. Sin embargo, estimamos esto a la baja comparando con el km de recorridos de los buses urbanos de Santiago que rondan los 220km por día en promedio.

En la siguiente tabla se presentan las emisiones de buses en el transporte público de Valdivia, las cuales llegan a emitir más de 23,2 mil toneladas de CO_2 y 9,3 mil m^3 de combustible anuales. En términos comparativos, sabemos que estimaciones preliminares para las emisiones evitadas de

flota de buses eléctricos del sistema de transporte público de Santiago – 411³ buses eléctricos de 12m – son cercanas a 20,6 mil toneladas de CO₂ (IEA 2020). En términos monetarios, los más de 9,9 mil m³ de combustible anuales corresponden a un gasto anual sobre los 10,8 mil millones de pesos anuales (asumiendo un valor de diésel de \$1100 CLP por litro). Las emisiones de otros contaminantes también son relevantes, incluyendo más de 5,9 toneladas de material particulado fino y 212 toneladas de NO_x al año. De todas formas, el mayor ahorro potencial de una política de electrificación de flota se da por las emisiones evitadas de CO₂.

Tabla 6: Inventario de emisión buses urbanos del transporte público Región de los Ríos (Fuente: Elaboración propia)

	Emisión (Ton/año)						
	CO	CO ₂	Consumo de Combustible (CC)	CC (m ³ /año)	HC	NO _x	PM _{2.5}
Buses Urbanos del Transporte público	63,32	23208,03	7768,08	9359,1	14,49	212,5	5,93

Para la validación de los resultados, solo se consideró el dato del consumo de un Bus Midi del programa Renueva tu Micro de la Región del Bio Bio⁴: entre 3 y 4 km/l. Esto porque los datos de consumo vehicular para la Región de los Ríos no son monitoreados o recogidos de manera sistemática por las autoridades regionales. Por otro lado, según la información disponible en el portal energía abierta, las ventas de diésel grado B1 desde el sector de empresas de transporte fue de 30 mil m³ en el año 2019⁵. El sector de buses urbanos del transporte público representaría el 20% de estas ventas.

Demanda de Pasajeros en Valdivia

En la Región de Los Ríos se han realizado una serie de estudios que tienen como objetivo conocer los patrones de movilidad dentro de las áreas urbanas y rurales de la Región. Estos estudios buscan identificar la demanda de transporte en distintos puntos dentro de la ciudad a través de Encuestas Origen - Destino (EOD). Igualmente, esto permite identificar los tiempos y modos de transporte usados con el fin de mejor planificar los modos de transporte público al igual que planificar proyectos de transporte y movilidad que fomenten un mejor uso de vías y modos de transporte, en línea con el crecimiento proyectado de la demanda de pasajeros.

Los estudios EOD más recientes realizados en la Región de los Ríos datan del 2012-2013 y 2017-2018, ambos estudios siendo encargados por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, con el fin de establecer mediciones de demanda de pasajeros en servicios de buses urbanos de

³ Año 2019

⁴ <http://renuevatumicro.cl/PDF/MenuSuperior/Estudios//VIII/P311-Informe%20final-v2.0.pdf>

⁵ <http://datos.energiaabierta.cl/dataviews/255173/venta-combustibles-liquidados-2019/>

Valdivia, Río Bueno y La Unión⁶ en el primer caso y en el segundo con e el fin de establecer mediciones de demanda de pasajeros en servicios de buses y microbuses urbanos de Valdivia⁷. En complemento a estos estudios de demanda, la Seremi de Transporte de la Región también solicitó un estudio de la infraestructura menor y variables de operación asociadas al sistema de Transporte Público Mayor Urbano de Valdivia⁸. Estos estudios alimentan al Plan Maestro de Valdivia y Anteproyectos cuya primera etapa se realizó en 2014 por la empresa Trasa Ingeniería⁹ y su segunda etapa en 2017 por la empresa CIPRES Ingeniería¹⁰. Finalmente, dentro de las actividades a realizarse en la región durante el 2022, se encuentra la licitación para un estudio de demanda de transporte para toda la región lo que servirá para ajustar aún más los criterios resaltados en el reciente trabajo. La presente sección busca resaltar los principales resultados de los estudios más recientes realizados.

Proyecciones de crecimiento de demanda para usuarios de transporte público urbano en Valdivia

En el estudio realizado por la consultora APTTA durante el 2017, “Mediciones de Demanda de Pasajeros en Servicios de Buses y Taxibuses de Valdivia”, se reconocen las distintas líneas que operan en Valdivia, identificando las empresas a cargo, tamaños de flota, trazados, tiempos medios de operación y frecuencias de salida, ubicación de terminales, tarifas y patente de los

⁶ DICTUC S.A. (2012) Mediciones de demanda de pasajeros en servicios de buses urbanos de Valdivia, río Bueno y La Unión. Disponible en: HYPERLINK

"<http://www.dtpgob.cl/PDF/MenuSuperior/Estudios//XIV/3/N%C2%B01%20INFORME.zip>" <http://www.dtpgob.cl/PDF/MenuSuperior/Estudios//XIV/3/N%C2%B01%20INFORME.zip>

⁷ APITTAL (2018) Mediciones de Demanda de Pasajeros en Servicios de Buses y Microbuses Urbanos de Valdivia. Disponible en: HYPERLINK

"<http://www.dtpgob.cl/PDF/MenuSuperior//Estudios/XIV/2/Informe%20Final%20Valdivia%202018.pdf>" <http://www.dtpgob.cl/PDF/MenuSuperior//Estudios/XIV/2/Informe%20Final%20Valdivia%202018.pdf>

⁸ Everis Chile S.A. (2016) Infraestructura Menor y Variables de Operación Asociada al Sistema de Transporte Público Mayor Urbano de Valdivia, Análisis y Propuestas. Disponible en: http://www.dtpgob.cl/PDF/MenuSuperior/Estudios//XIV/Informe%20Final_Infraestructura%20Valdivia.pdf

⁹ Trasa Ingeniería (2014) Actualización Plan de Transporte Valdivia y desarrollo de anteproyecto, I Etapa. Disponible en: HYPERLINK

"http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/log_busqueda_archivo.asp?url=%2Fcontenido%2Fbiblioteca%2FDocumentos%2FActualizacion%5FPlan%5FTransporte%5FValdivia%5FI%5FEtapa%5FInf%5FFinal%2Ezip" http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/log_busqueda_archivo.asp?url=%2Fcontenido%2Fbiblioteca%2FDocumentos%2FActualizacion%5FPlan%5FTransporte%5FValdivia%5FI%5FEtapa%5FInf%5FFinal%2Ezip

¹⁰ CIPRES Ingeniería (2017) Actualización Plan de Transporte de Valdivia y Desarrollo de Anteproyecto, Etapa II. Disponible en:

http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/log_busqueda_archivo.asp?url=%2Fcontenido%2Fbiblioteca%2FDocumentos%2FActualiz%5FPlan%5Fte%5FValdivia%5Fy%5FDes%5FAnteproy%5FEtapa%5FII%5FInf%5FFinal%2Ezip

vehículos. Esta información fue cruzada con la información levantada en terreno sobre el uso de estas líneas por parte de los usuarios, y permitió la caracterización de la demanda para cada servicio.

En los resultados del estudio, se indica que hasta el 2013, la población alcanza los 161.304 habitantes, con un 2.18% de crecimiento anual, con un total de hogares de 49.126, 29631 vehículos y una densidad de 3.28 personas/hogar, y una tasa de motorización de 0.6 vehículos/hogar. De la cual, la mayor cantidad se encuentra ubicada en la macrozona Sur – Oriente (ver figura a continuación), seguida de la zona centro y oriente.

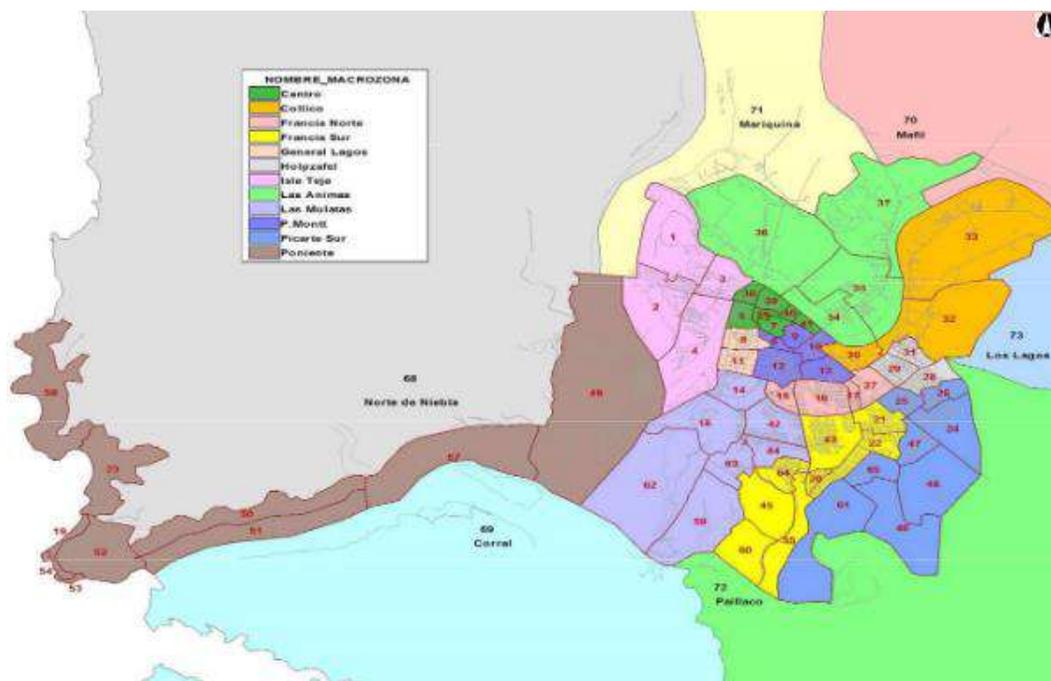


Figura 5. Macrozonas de Valdivia. (Fuente: TRASA Ingeniería (2014))

Dentro de los resultados, en lo que respecta al uso de los servicios y líneas por parte de los pasajeros, se encuentran las siguientes gráficas.

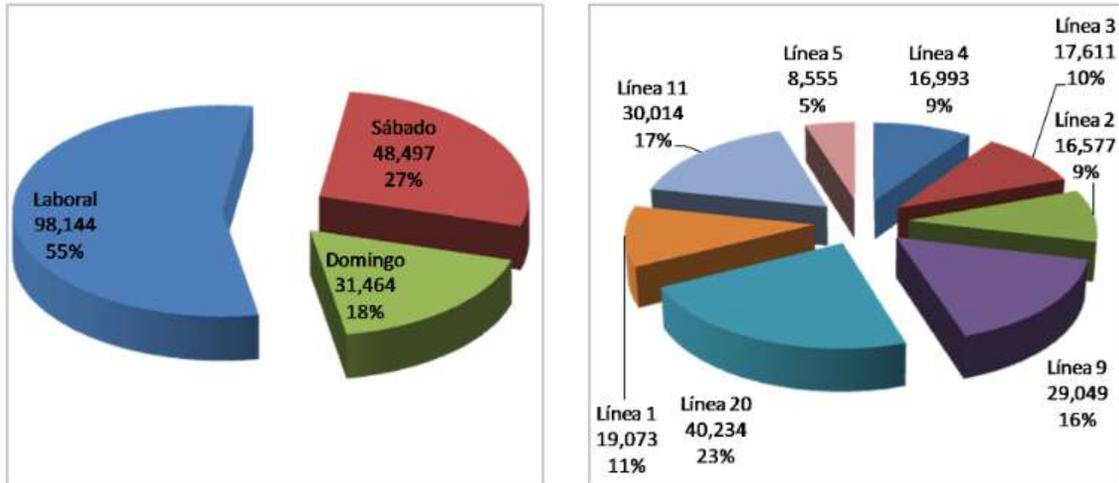


Figura 6. Proporción de pasajeros por tipo de día y según línea. (Fuente: DTPR, 2018)

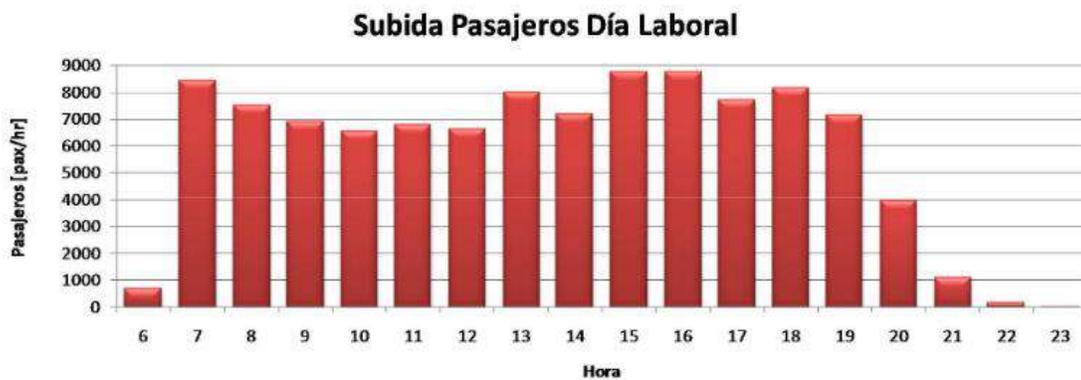


Figura 7. Perfil de pasajeros promedio según hora. (Fuente: DTPR, 2018)

En la primera gráfica, se puede ver que, hasta esa fecha, la línea 20 es la que más pasajeros transportaba, seguida por la línea 11 y luego la línea 9. Se observa también, que mayor uso se daba en los días laborales (lunes – viernes). La gráfica que le sigue muestra que el número de pasajeros es mayor a partir de las 13:00, y un menor número en los horarios 09:00 – 12:00, esto atribuible a las jornadas de inicio y término laboral, en donde el flujo de usuarios aumenta.

Potencial crecimiento

A lo largo del proyecto, parte de la información que se levantó en conjunto con la información de GPS para cada bus, fue el conteo de pasajeros que utilizaron los servicios que se analizaron en el estudio. Si bien el enfoque de este último era desarrollar un pilotaje virtual de los buses eléctricos,

se aprovechó la oportunidad para recabar alguna información preliminar sobre tasas de ocupación. La información permitió separar según rango de horario y obtener un promedio junto con su máxima y mínima pasajeros que utilizaron el servicio. Las gráficas a continuación describen la data obtenida.

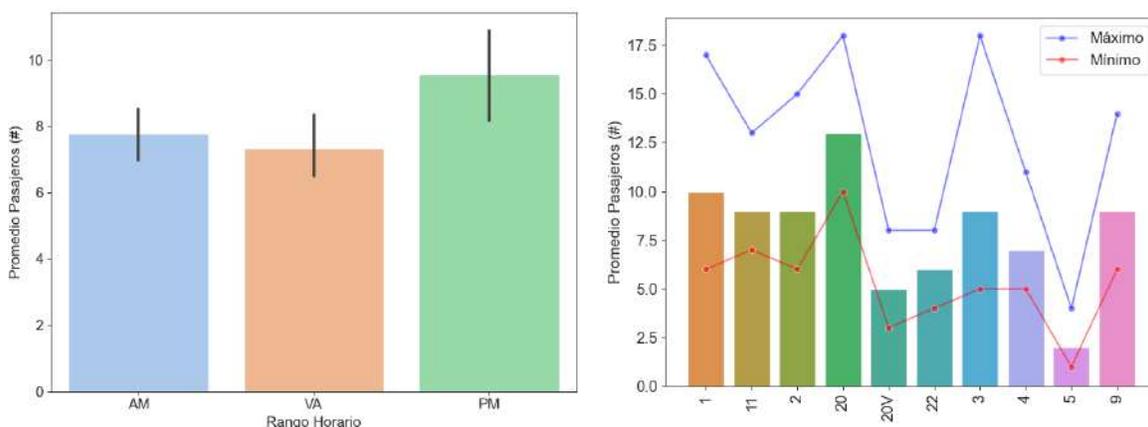


Figura 8. Conteo de pasajeros, separación según rango de horarios, y por línea. (Fuente: Elaboración Propia)

En general se puede ver un comportamiento esperable, en donde el horario valle posee menor demanda en comparación con los horarios AM y PM. Con respecto a las líneas, se observa que la línea 20 posee un mayor número de pasajeros; en la segunda gráfica también se puede ver que las mediciones muestran, en algunas líneas, mayores variaciones.

Al comparar este conteo con la información de la sección anterior, se observa que ambos catastros coinciden en general. El servicio con mayor número de pasajeros en ambas bases de datos es la línea 20, mientras en lo que respecta a los horarios considerados AM (06:00 – 12:00), PM (15:00 – 23:00) y Valle (12:00 – 15:00), también coincide el análisis. Es decir, en donde el horario PM resultó ser el rango horario con mayor número de pasajeros transportados.

Se debe considerar, sin embargo, que en el momento de las mediciones la actual emergencia sanitaria y consecuente confinamiento tuvo un efecto importante en los patrones de movilidad, y por lo tanto en los traslados. Por lo que es importante poder estimar las nuevas demandas de pasajeros para cada línea. Actualmente el Gobierno Regional ha indicado que durante el curso del año se comenzará a elaborar este trabajo. Sin embargo, los actuales insumos pueden servir de referencia para estimar el impacto en pasajeros durante periodos de pandemia.

Terminales e infraestructura vial en Valdivia

En la ciudad de Valdivia, las 9 rutas donde operan los buses urbanos son las siguientes: Línea 1, Línea 2, Línea 3, Línea 4, Línea 5, Línea 9, Línea 11, Línea 20 y Línea 22. En las siguientes figuras y tablas se muestra las distancias (km) del recorrido de ida, vuelta y el total. Asimismo, se indica la cantidad de vehículos que componen la flota de dicho recorrido. Estas imágenes y datos de flotas fueron obtenidos desde la División de Transporte Público Regional (DTPR) en su informe final de la Región de los Ríos “Infraestructura menor y variables de operación asociada al sistema de transporte público mayor urbano de Valdivia, análisis y propuestas”.¹¹

La información entregada se puede resumir en la siguiente tabla:

Tabla 7. Resumen de la información por ruta. (Fuente: Elaboración Propia)

Línea	Total (km)	Ida (km)	Vuelta (km)	Flota (#)	Paradas (#)
2	35,5	17,9	17,6	30	62
3	35,8	17,9	17,9	30	62
4	36,3	17,6	18,7	79	78
5	29,1	13,9	15,2	9	-
9	34,7	17,2	17,5	38	72
11	17,4	8,8	8,6	43	39
20	58,4	28,8	29,6	32	122
22	21,1	10,7	10,4	13	-

Modelo de Gestión y Financiamiento

La inserción de los buses eléctricos en el transporte público ha provocado un cambio de percepción a cómo tradicionalmente se plantea la organización y el diseño operacional de una flota de buses. Para que la introducción de buses eléctrico sea exitosa, no sólo debe considerar los aspectos técnicos propios del bus, como también la infraestructura de carga, sino que además es necesario un sistema inteligente para la toma de datos, estrategias de carga en la operación, una estructura de gestión entre las empresas proveedoras de bus y proveedoras de energía con las identidades o autoridades reguladoras, con el fin de disminuir al mínimo los riesgos y barreras que pudiesen presentarse.

¹¹ «Infraestructura menor y variables de operación asociada al sistema de transporte público mayor urbano de Valdivia, análisis y propuestas»
http://www.dtp.r.gob.cl/PDF/MenuSuperior/Estudios//XIV/Informe%20Final_Infraestructura%20Valdivia.pdf

Todo lo relacionado en lo que respecta a las relaciones entre los distintos actores tanto públicos como privados, es decir, cómo se financia el proyecto, cuáles son los roles, cuáles serán las estrategias para disminuir riesgos y barreras, etc. Todo esto puede resumirse en lo que se denomina modelo de negocio. En este caso, los operadores no se limitan sólo a financiar la infraestructura y adquisición de unidades de buses eléctricos, sino todo el conjunto de reglas de financiamiento que rige la operación, incluyendo:

- Garantías Estatales
- Obligaciones por parte del operador al momento de realizar la adquisición

Los procesos de electrificación son paulatinos o escalonados. Esto no depende solamente de las metas planteadas por el gobierno sino también de los costos de inversión, las vidas útiles de las unidades, la factibilidad técnica y la rentabilidad del negocio para la empresa operadora. Para esto, es primordial definir el **modelo de negocios para financiar los activos y las inversiones en infraestructura asociadas**. En general el modelo de negocio considera siempre un modelo de gestión y un modelo de financiamiento.

Modelos de Gestión y Negocio en Valdivia

En el caso de Valdivia, como se menciona en la subsección *organización y perímetro de exclusión*, los operadores son en su gran mayoría dueños de sus propios buses, el ministerio mediante una licitación otorga una serie de rutas a las que los operadores postulan ofreciendo sus servicios en esa ruta y mediante un esquema de ingresos, permiten financiar los costos de operación y adquisición de nuevos buses.

El esquema de ingresos se basa en el cobro de tarifas a los pasajeros que usan el servicio, así, los ingresos de cada operador dependen de la cantidad de pasajeros que atraiga. No existe una entidad central que recaude las tarifas y luego distribuya los ingresos entre los operadores. La implementación del perímetro de exclusión no cambia esta modalidad; no obstante, según la resolución 130 del 2014, se otorga la posibilidad que un operador pueda implementar un sistema de cobro electrónico y acceder a un subsidio por contrato del perímetro correspondiente a la sumatoria por concepto de tarifa, compensación por rebaja de estudiante (correspondiente a un 33%) y operación mensual que involucra número de buses, distancias recorridas de operación, índices de puntualidad, entre otros aspectos.

El valor de la tarifa base, es decir, tarifa adulta, es de \$500. Este monto aplica para todas las líneas que ofrecen servicio de transporte público al interior del radio urbano definido para ciudad de Valdivia en el perímetro de exclusión. Existe una tarifa rebajada para escolares la cual es subvencionada con recursos estatales, a nivel nacional, por la Ley 20.378. Con la implementación del perímetro de exclusión se agrega una subvención para una tarifa rebajada para pasajeros de la tercera edad.

Según el estudio encargado por la DTPR “Mediciones de Demanda de Pasajeros en Servicios de Buses y Microbuses Urbanos de Valdivia” publicado en 2018. Se muestra que, en día laboral el 51,8% de los pasajeros es Adulto (Tarifa local adulto), el 5,5% es adulto mayor (tarifa rebajada adulto mayor), el 38,7% es estudiante (tarifa rebajada estudiante) y el 4,0% es niño (no paga tarifa). En los sábados y domingos, los usuarios estudiantes bajan a un porcentaje entre 11,3% a 6,0%, mientras que los usuarios adultos suben sobre el 70%. Como se resume en la Tabla 8.

Tabla 8: Distribución por tipo de pasajero en la semana.

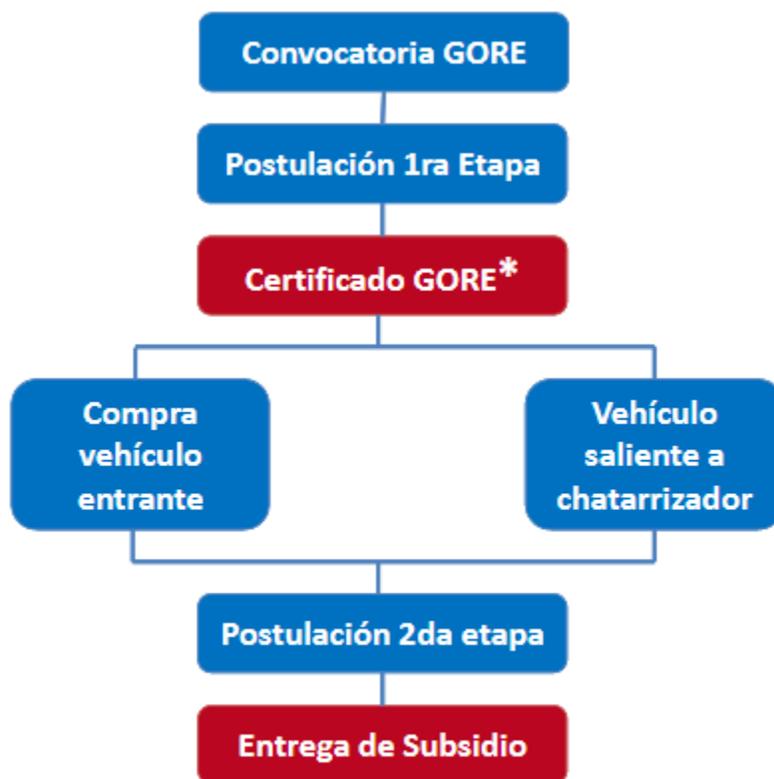
Tipo de Pasajero	Laboral	Sábado	Domingo
Adulto	51,8%	71,1%	75,9%
Adulto Mayor	5,5%	8,9%	8,3%
Estudiante	38,7%	11,3%	6,0%
Niño	4,0%	8,6%	9,8%

En Valdivia, al ser los operadores dueños de los buses y el terminal, las nuevas adquisiciones, el mantenimiento o las mejoras deben ser financiadas con recursos de la empresa y deudas con la banca comercial. Periódicamente se financia el “Programa Renueva tu Micro” que cubre una parte del costo de reemplazar un bus antiguo por uno más nuevo; la cantidad de beneficiarios depende de los montos disponibles.

El programa busca la renovación de buses antiguos de transporte público, tanto en regiones como en el área rural de la región Metropolitana, convirtiendo a los buses antiguos en chatarra para que no puedan volver a ser utilizados. El proceso está dividido en dos etapas:

1. La primera etapa corresponde a la postulación y a la verificación del cumplimiento de los requisitos del vehículo saliente y del vehículo que se desea ingresar en reemplazo del vehículo antiguo y su correspondiente compra.
2. La segunda etapa corresponde a los procedimientos para concretar la entrega del vehículo antiguo y posterior reemplazo del vehículo nuevo en el registro de transportes, el cuál es comprado mediante un subsidio cuyo monto depende de la disponibilidad de fondos y la antigüedad del vehículo.

El programa va dirigido a personas naturales o jurídicas propietarias de un bus operativo para el transporte público remunerado de pasajeros durante los últimos tres años contados desde la fecha de publicación de la **Ley N° 20.378**. Es decir, entre el 5 de septiembre de 2006 y el 5 de septiembre de 2009.



Gobierno de Chile | Subsecretaría de Transportes

El programa ha beneficiado a 21.369 vehículos con un monto de \$18.257 millones de pesos hasta el 2016¹² a nivel nacional y en particular para la región de los Ríos ha beneficiado a 873 buses, inyectando un monto de \$1.355 millones de pesos.

Fuentes de Financiamiento

a. Banca comercial

En Chile, los casos más conocidos de financiamiento para operadores, por medio de leasing o métodos similares, ocurrieron en Santiago. En general estas operaciones fueron con gran cantidad de buses e intervinieron distintas entidades, como el Estado, bancos internacionales, proveedores de energía y fabricantes de buses.

En el caso de los operadores de Valdivia, según datos de recaudación de tarifas del estudio de 2018 de la DTPR¹³, los operadores tienen ingresos/ventas que están justo por debajo del límite superior para ser considerados pymes, específicamente una empresa mediana grande.

¹² http://apps.mtt.cl/chatarrizacion/pdf/Programa_Renueva_tu_Micro_ANAC%20120315.pdf

¹³ DTPR, «Mediciones de Demanda de Pasajeros en Servicios de Buses y Microbuses Urbanos de Valdivia,» Valdivia, 2018.

La búsqueda de información respecto al financiamiento en Valdivia se resume en los siguientes puntos:

- No hay planes de financiamiento, ya sea crédito o leasing que sea específico para transporte público. La búsqueda arrojó que no hay información pública al respecto. Lo anterior implica que un operador debe negociar mecanismos más adecuados caso a caso o banco a banco, lo que dificulta un plan de financiamiento para una operación escalable.
- Algunas entidades tales como el Banco Estado y Banco de Chile, ofrecen financiamiento específico para sector transporte, pero está enfocado al transporte de carga o de personal, es decir, vehículos pequeños y medianos, como taxis y van.
- Existen programas de financiamiento para bienes clasificados como muebles, que pueden ser desde un notebook, hasta una maquinaria agrícola. Al ser demasiado generales, los plazos y condiciones que se aplican no atienden las particularidades del transporte público ni mucho menos de buses eléctricos.
- Existen entidades privadas que ofrecen servicios de financiamiento, un ejemplo de esto es Fitrans¹⁴ que se especializa en financiamiento para el sector de transporte, pero en vehículos medianos y pequeños. Para transporte público sólo financian taxibuses. No tienen información pública respecto a financiamiento para buses eléctricos.

b. Garantías estatales

Para empresas que califican como pyme, a través de CORFO, se da garantía parcial a los créditos para empresas medianas (ventas anuales entre UF 25.001 y UF 100.000), se cubre entre un 40% y un 80% del monto financiado. Esto aplica para créditos y leasing. Esto mejora las tasas y condiciones de financiamiento.

Sin embargo, estos planes son de carácter general por lo que no atienden a particularidades de la electromovilidad, tales como los elevados costos de inversión inicial, una mayor vida útil de los buses eléctricos, menores costos operacionales para grandes distancias de operación, entre otros aspectos particulares de la operación con buses eléctricos.

c. Ley de Subsidio Nacional al Transporte Público

La Ley Subsidio Nacional al Transporte Público (Ley n°20.378) comprende un fondo anual de subsidio al transporte público nacional, el que se divide en partes iguales entre la Provincia de Santiago más las comunas de San Bernardo y Puente Alto, y el resto del país. A final de cada año (“a más tardar, el 31 de diciembre de cada año”), el MTT en conjunto con el Ministerio de Hacienda deben establecer, por medio de un decreto, los montos que asignarán a cada región el año que sigue.

¹⁴ <http://www.fitrans.cl/>

Una parte del fondo (30%) lo administra el MTT para servicios subsidiados, otra parte (53%) va a los Gobiernos Regionales y el restante (17%) va destinado a financiar inversiones de transporte autorizadas por Hacienda¹⁵. Parte del fondo administrado por el MTT se utiliza para subvencionar la tarifa rebajada de escolares y subsidiar el transporte en zonas aisladas, zonas donde la cantidad de estudiantes sea menor al resto del país y otras situaciones por medio del “Programa de Apoyo al Transporte Regional”.

Como se mencionó en puntos anteriores, el "Programa Renueva tu Micro", financiado por el MTT, busca incentivar el recambio de buses antiguos por buses nuevos o usados con menos antigüedad que el saliente, está enfocado en operadores del transporte público en regiones y subsidia parte del costo del bus reemplazante. El programa prioriza y otorga mayor financiamiento a aquellos postulantes con buses más nuevos. En la segunda etapa, se exige al postulante entregar el vehículo saliente a un chatarrizador inscrito en el programa, con el fin de destruir el bus para que éste no vuelva ser usado en otro lugar.

El Estudio de 2014 de la DTPR, “Plan de Transporte Público Regional”, califica el Programa Renueva tu Micro como un buen incentivo para disminuir la antigüedad promedio de las flotas; antiguamente se tenían los promedios más alto a nivel país. Esto significa un aumento en la calidad del servicio y, posiblemente, un aumento en la preferencia por taxibuses puesto que el usuario tiene una mejor percepción del servicio. Sin embargo, el programa no necesariamente impulsa la compra de vehículos cero emisiones o eléctricos.

Como ya se mencionó, parte de los fondos del subsidio nacional al transporte público están a disposición de los gobiernos regionales para proyectos de mejoras al transporte público u otros proyectos de impacto social. En un estudio a los “Fondos Espejo” hecho por Espacio Público el 2018¹⁶, se encuentra que un porcentaje importante de estos recursos son destinados por los COREs en proyectos que no tienen relación con el transporte público mayor. Esto ya que los COREs no están obligados a invertir estos recursos en esta materia.

En el mismo estudio, por otro lado, también se encuentra que, de los recursos empleados en transporte, la mayoría se concentra en proyectos de mantenimiento de la infraestructura vial, dejando con menos apoyo la gestión de tránsito e inversión en nueva infraestructura. Esto podría indicar una falta de visión estratégica para mejorar la calidad del transporte en cuanto a tecnología, descongestión, planificación, etc.

¹⁵ F. Casanello, 25 9 2018. [En línea]. Available: <https://www.uss.cl/ingenieria-y-tecnologia/ley-espejo-cambios/>. [Último acceso: 20 7 2021].

¹⁶ Ó. Figueroa, P. Mora, I. Poduje, V. Rabi y J. Wood, «Desarrollo del transporte en regiones: Radiografía del uso del fondo espejo y propuestas,» 2018.

Estos fondos pueden ser una oportunidad para promover el despliegue de movilidad eléctrica. Por ejemplo, el Programa Renueva tu Micro puede considerar montos mayores para la adquisición de buses eléctricos. Asimismo, recursos destinados a la mantención de infraestructura pueden ser redestinados a inversiones en infraestructura y capacidades en personal, que genere condiciones para la electromovilidad.

Barreras y Riesgos para Valdivia

La inserción de los buses eléctricos en el transporte público ha provocado un cambio de percepción a cómo tradicionalmente se plantea la organización y el diseño operacional de una flota de buses. Para que la introducción de buses eléctrico sea exitosa, no sólo debe considerar los aspectos técnicos propios del bus, como también la infraestructura de carga, sino que además es necesario un sistema inteligente para la toma de datos, estrategias de carga en la operación, una estructura de gestión entre las empresas proveedoras de bus y proveedoras de energía con las identidades o autoridades reguladoras, con el fin de disminuir al mínimo los riesgos y barreras que pudiesen presentarse.

Para esto es primordial poder identificar tales barreras y riesgos. En los puntos a continuación se identifican barreras y riesgos asociados a la ciudad que dificultarían la introducción de BEBs. Y a partir del análisis de barreras y riesgos, se plantea las condiciones necesarias para un modelo tentativo dado el contexto de Valdivia. Finalmente se introduce algunas oportunidades de financiamiento y recomendaciones para avanzar en la introducción de buses eléctricos.

Principales Barreras para la electrificación del transporte en Valdivia

Considerando la información recolectada y descrita en la sección “Antecedentes de la ciudad de Valdivia”, junto con la experiencia recolectada en otros lugares tales como Cali-Colombia, Santiago – Chile, Ciudad de Panamá, entre otras regiones, se compilan una serie de barreras y riesgos relevantes para la ciudad de Valdivia en la Región de los Ríos.

Las barreras se pueden dividir en tres grandes categorías: Financieras, Políticas o Normativas y Tecnológicas, la siguiente tabla las resume. Según la información encontrada, se clasificó en riesgo en Alto, Medio y Bajo. En caso de que se requiera más información se rellenó con “RMI” y en caso de que la barrera no aplique al caso de Valdivia se colocó “NA”.

Para cada barrera, se verificó la información que se obtuvo localmente y se comparó respecto a otras experiencias internacionales, considerando el impacto que ha tenido esta barrera en la electrificación de la flota. La clasificación se otorga entonces, de la siguiente forma:

- **Baja:** Si existen avances o antecedentes que disminuyan totalmente esta barrera, o no existen políticas o condiciones que permitan el aumento de esta.
- **Media:** Si existe un avance (ya sea a través de instituciones, políticas/leyes) en la disminución de esta barrera.
- **Alta:** Si no existe ningún avance, no se encontró antecedentes que apunten a la disminución de esta barrera, o bien las condiciones actuales favorecen el incremento de esta barrera.

La tabla a continuación resume las barreras y relevancia para Valdivia.

Tabla 9: Barreras para la electrificación del transporte en Valdivia. (Fuente: Elaboración Propia)

Tipo	Descripción	Relevante a Valdivia
Barreras Financieras	Altos costos de inversión inicial: Los buses eléctricos, pueden costar entre 2 a 3 veces más que un bus diésel equivalente	Alto
	Difícil acceso y altos costos del financiamiento	Alto
	Mecanismos de financiamiento enfocados en diésel	Alto
	Limitada inversión en infraestructura: de carga, red eléctrica y, a veces, vial; encarece el proyecto.	Alto
	Falta de mercado secundario: e-buses usados que podrían bajar los costos de adquisición.	Alto
	Deficiencia en planificación financiera y visión de sostenibilidad a largo plazo	Medio
Barreras Políticas	Normativas que favorecen el uso de diésel	Bajo
	Falta de políticas públicas favorables (o enfoque inadecuado)	Bajo
	Políticas ambientales poco agresivas	Bajo
	Informalidad del sistema de transporte: Falta de organización por parte de la autoridad de transporte: malas prácticas y deficiencias que debilitan el sistema.	Medio
	Falta de regulaciones de los componentes de electromovilidad: como homologación, seguridad, protocolos de comunicación, etc.	NA
	Desinterés y/o resistencia de operadores para transformar tecnología	Medio
	Desconocimiento de estrategias para adquirir e-buses: Estrategias distintas a la compra directa.	Baja
	Dificultad de articulación entre distintos actores.	Medio
Barreras Técnicas	Fabricantes con poca presencia local	Bajo
	Incertidumbre sobre el ciclo de vida de las baterías	Medio
	Desinformación respecto a la tecnología	Medio
	Falta de datos reales de operación bajo las condiciones de la ciudad	Medio
	Falta de conocimiento técnico	Alto
	Falta de condiciones para infraestructura de carga	Alto
	Modelos de operación enfocados en diésel: No consideran características como vida útil, costos de operación y mantención	Alto
	Reemplazo 1:1 de buses: Rutas con gran exigencia podrían necesitar más de un e-bus por cada bus diésel.	RMI

La barrera asociada al reemplazo de buses diésel por buses eléctricos en relación 1:1, podrá ser esclarecido en los siguientes trabajos que se realicen en las siguientes etapas de la consultoría.

a. Barreras Financieras

Sobre los puntos vistos en las barreras financieras, los altos montos de inversión para la adquisición de los activos (bases e infraestructura de carga) supone una fuerte barrera para los operadores de Valdivia en el contexto actual. Lo anterior se basa en el hecho de que la antigüedad promedio de las flotas es muy alta, especialmente en líneas que tienen un gran porcentaje de usuario estudiante (pagan menos tarifa) como destaca el estudio de la DTPR de 2014; incluso, en ese estudio, se menciona que la flota de Valdivia era una de las más antiguas a nivel país y el promedio de edad disminuyó gracias al programa "Renueva tu micro". Es decir, el operador de Valdivia tiene muy pocos incentivos y/o recursos para adquirir nuevos buses diésel sin apoyo estatal y financiamiento comercial, por lo que los altos montos de los activos de electromovilidad se transforman en una barrera aún mayor.

El difícil acceso y los costos del financiamiento comercial es otra barrera para considerar. Los operadores, al ser empresas medianas (según criterio de ingresos anuales¹⁷ y tamaño de flota¹⁸), no pueden ofrecer muchas garantías a las entidades financieras. Existen mecanismos para mitigar el riesgo y los costos como "Renueva tu micro" y FOGAIN, pero necesitan ser actualizados; el primero no tiene un mecanismo específico para fomentar e-buses y el segundo es un programa para pymes en general y no para el sector de transporte en particular.

Sumado a lo anterior, no es fácil encontrar alternativas de financiamiento enfocadas al transporte público o de personas con vehículos pesados (buses y taxibuses), mucho menos adaptadas a la electromovilidad. En este sentido, se tiene como barrera también que los mecanismos de financiamiento existentes, en términos de los plazos y montos, están diseñados para la tecnología diésel; no ha habido una actualización para considerar las características favorables de los buses eléctricos, tales como mayor vida útil y menor costos de operación. Por ejemplo: Fitrans, especializado en financiar vehículos de transporte de pasajeros, solo ofrece plazos de hasta 60 meses¹⁹; mientras que lo recomendable es tener plazos de 10 a 14 años aprovechando la vida útil mayor de los e-buses. Considerando esto, se debe agregar que el prestador de servicios que opera en una línea determinada es quien dispone del bus como propietario, por lo que la renovación de la flota depende del poder adquisitivo de este.

¹⁷ Ventas anuales entre UF 25.001 y UF 100.000; Según informes de la DTPR los operadores tienen ingresos anuales justo por debajo del límite superior

¹⁸ En base al tamaño de las flotas de los operadores de la región LAC; bajo 10 buses son flotas pequeñas, sobre 100 buses son flotas grandes.

¹⁹ <http://www.fitrans.cl/que-financiamos.php>

En cuanto a infraestructura, los operadores son dueños de sus terminales, ubicados al inicio y/o término de las respectivas rutas. Dependiendo de la estrategia de carga se debe realizar una gran inversión en transformar los actuales terminales a electroterminales y/o instalar electrolineras de carga rápida en puntos estratégicos. De cualquier modo, la inversión se vuelve muy alta considerando además la adquisición de buses eléctricos. En relación con la inversión pública en infraestructura, una parte de los “Fondos espejo” son administrados por los Gobiernos Regionales para invertir en transporte público. Sin embargo, un porcentaje importante de estos recursos son invertidos en proyectos que no tienen relación con el transporte público mayor, ya que los COREs no están obligados a invertir estos recursos en esta materia.

Ligada a la barrera anterior, está la relacionada a la deficiencia en planificación financiera y visión de sostenibilidad a largo plazo a nivel del gobierno local para el financiamiento del transporte público. Este problema hace referencia a una falta de coherencia entre la planificación a largo plazo (10 a 30 años) y de corto plazo (1 a 3 años) a nivel estratégico para la adquisición de recursos. En este sentido, las ciudades pueden tener una carta estratégica a largo plazo, pero nuevas administraciones locales proponen nuevos desarrollos en materia de transporte y nuevos estudios para la implementación de fuentes de ingreso alternativas en cada periodo de cambio de gobierno²⁰.

Finalmente, la falta de un mercado secundario de buses eléctricos supone una barrera ya que facilitaría el acceso abaratando los costos.

Principales Riesgos para la electrificación en Valdivia.

Por su parte los riesgos asociados a la introducción de BEBs, fueron nombrados y explicados sin establecer un criterio de relevancia. Dentro de los riesgos encontrados para Valdivia, un aspecto que resalta es la aceptación de la tecnología por parte de los operadores, considerando que son éstos los dueños y propietarios de las maquinarias. En este sentido varios de los riesgos que a continuación se describen deben considerar que un actor clave en el éxito de la implementación de los buses eléctricos son los operadores.

Tabla 10: Riesgos de la electrificación del transporte en Valdivia. (Fuente: Elaboración Propia)

²⁰ Ardanuy Ingeniería, S. A., «La electromovilidad en el transporte público de América Latina,» CAF, Caracas, 2019.

Tipo	Descripción
Riesgos financieros	Riesgo en la contraparte
	Riesgo por demanda
	Cambio monetario (<i>currency risk</i>)
Riesgos políticos	Cambio en prioridades políticas
	Cambios contractuales
Riesgos técnicos	Depreciación rápida de componentes tecnológicos
	Rendimiento y vida útil de las baterías menor a lo esperado
	Servicios de postventa limitado o exiguo
	Limitada disponibilidad de infraestructura de carga adicional

a. Riesgos financieros

El riesgo a la contraparte hace referencia a la posibilidad de que una empresa operadora de buses quiebre o deje de operar por algún otro motivo. En un sistema donde el operador arrienda a un proveedor de los activos (buses, baterías o cargadores) implica, para el proveedor, que los activos no seguirán siendo usados y, por lo tanto, no se recuperará la inversión. Una solución a este riesgo es que los activos pasan a ser del sistema y no quedan fijos por contrato a un operador; así, si un operador deja de operar, los activos seguirán siendo usados por la empresa que lo reemplace.

El riesgo por baja demanda puede darse por servicios duplicados o servicios piratas que dividen la demanda y hacen menos rentable el proyecto. En los estudios vistos de Valdivia, los servicios piratas no parecen ser un problema, aunque los servicios por taxis colectivos son un factor importante que le quita demanda a los buses.

Por su parte el riesgo por cambio monetario está relacionado a los cambios en el valor de la moneda local, respecto a monedas internacionales como el euro, dólar, etc. Este tipo de riesgo podría aumentar en caso de que la moneda local se devalúe debido a inflaciones, o mediante crisis en caso de que no existan inversiones. Chile presenta bajo riesgos relacionados con este tipo, según datos de la plataforma *Marsh Specialty's World Risk Review*²¹.

En el caso de Valdivia los operadores son propietario de los buses y, por lo tanto, los riesgos a la contraparte y por baja demanda toman principal relevancia considerando que asumen todo el riesgo financiero y de operación de los buses. Es necesario introducir sistemas que minimicen el riesgo a los operadores permitiéndoles diversificar las inversiones, junto con la posibilidad de mejorar la tecnología y rendimiento de la operación.

²¹ <https://www.marsh.com/sg/services/political-risk/insights/political-risk-map-2021.html>

b. Riesgos políticos y normativos

El riesgo por *cambio en las prioridades políticas* puede deberse a un cambio del gobierno de turno, una situación social o económica particular u otro factor que afecte la política antecesora y supone bajar la prioridad de implementar la electromovilidad. Esto puede resultar en una reducción o eliminación de recursos, abandonar proyectos o dejar de realizar otras acciones que faciliten la implementación de electromovilidad. Esto se puede mitigar con compromisos públicos ejecutables legalmente.

El riesgo nombrado como cambios contractuales hace referencia a cambios inesperados, pero que se deben realizar, en los contratos vigentes entre los actores del sistema de transportes (operadores, proveedores de flota, autoridad de transporte, otros). Mientras algunos de estos imprevistos se pueden deber a causas externas que no dependen de ninguno de los actores, tales como el cierre de algún proveedor externo, el corte de suministro de algún insumo, entre otros. Otros imprevistos se pueden deber a falta de preparación o conocimiento de actores involucrados, esto último relacionado con la barrera de información.

c. Riesgos técnicos

La depreciación rápida de los componentes tecnológicos aumenta el riesgo percibido de realizar la inversión en la actualidad dado el rápido abaratamiento de los activos tecnológicos (por ejemplo: los precios de las baterías han bajado un 79% desde 2010 a 2017).

El riesgo de obtener un rendimiento (autonomía del bus) y vida útil de la batería menor a lo prometido por el fabricante puede implicar que: los buses no cumplan el recorrido completo de las rutas; se necesite usar más buses; la estrategia de carga se deba planificar de nuevo; recambios anticipados de la batería; entre otros. Problemas que aumentan los costos y empeoran el servicio. Factores que propician este tipo de riesgos son la falta de estudios de rendimiento bajo condiciones específicas de la ciudad (pilotos y modelación) y operación ineficiente de los buses por falta de capacitación a conductores y a personal de mantenimiento.

La limitada presencia local de los fabricantes presenta el riesgo de que servicios de postventa, disponibilidad de piezas de repuesto, capacitación en la mantención y certificación de esta sean deficientes y con soluciones tardías. Si bien este riesgo ha disminuido con el tiempo gracias a la penetración de la tecnología en la región cada vez mayor, es importante asegurar condiciones mínimas de postventa con el fabricante definiendo compensaciones en casos de retrasos o algún otro tipo de falta que perjudique la operación de los vehículos.

Finalmente, la poca disponibilidad de infraestructura de carga adicional (electrolineras comerciales) a la prevista para la implementación del nuevo sistema dificulta la solución frente a eventualidades como corte de energía o falla de un cargador. Por este motivo es importante planificar la estrategia de recarga y su infraestructura como parte integral de la implementación

de la electromovilidad y considerar sistemas de respaldo adecuado (cargadores adicionales, generadores, etc.).

Estado Normativo Actual en Buses e Infraestructura de Valdivia

Las resoluciones 2282, 2285, 786, 2283, 2272, 2280, 2284, 2277 y 818 del MTT, todas de 2020, aprueban los contratos con los operadores de transporte para realizar los servicios L1, L2, L3, L4, L5, L9, L11, L20 y L22 respectivamente bajo el perímetro de exclusión de Valdivia. La subsección que sigue aborda los aspectos técnicos que rigen actualmente sobre la flota inicial de cada operador y de los buses que se agreguen ya sea como reemplazo o adición a la flota.

Normas en Buses en Valdivia, región Sur

Para los buses operando servicios en el perímetro de exclusión de Valdivia, en la resolución n°12 del 28 de febrero de 2020, y otras resoluciones complementarias, se definen como exigencias técnicas:

Tabla 11: Sumario especificaciones técnicas buses en perímetro de exclusión de Valdivia. (Fuente: Elaboración con información de la DTPR)

Perímetro exclusión	
Antigüedad	<ul style="list-style-type: none"> Flota actual: máximo 20 años Al séptimo año: antigüedad máxima de 15 años Adicionales (*): Nuevos (cero años de antigüedad) (*) buses que se incorporan a la flota existente sin reemplazar otros.
Capacidad	Según D.S. N°122 (Requisitos dimensionales y funcionales)
Tipología	No pueden ser buses articulados ni de dos pisos
Gestión / Control	Sistema AVL (<i>Automatic Vehicle Location</i>) y contador de pasajeros
Otras especificaciones técnicas	Según normativa existente

Respecto a otras especificaciones técnicas que se rigen según normativa existente de la tabla anterior, se tiene el decreto 212 del 1992 del MTT, sobre “Reglamento De Los Servicios Nacionales De Transporte Público De Pasajeros” que regula algunos aspectos como extintores, neumáticos, chasis, carrocería, entre otros. También se puede mencionar el D.S. 55 de 1994 del MTT que establece normas de emisiones para vehículos pesados, cuyos límites puede variar dependiendo del año de registro del vehículo. La norma de emisión de ruidos para buses de transporte público se define en el D.S. 129 de 2002 del MTT.

Eficiencia energética

En febrero del año 2021 se promulgó la Ley 21.305 Sobre Eficiencia energética del Ministerio de Energía, la cual aborda 3 ejes principales: eficiencia energética de empresas, de edificaciones y la vehicular, abordando temas de interoperabilidad y eficiencia energética. Con relación a ésta última, en el Artículo N°7 se introducen modificaciones al decreto ley N° 2.224, de 1978, que crea el Ministerio de Energía y la Comisión Nacional de Energía, indicando que:

"... Además, tratándose de vehículos motorizados livianos, medianos y **pesados**, homologados o certificados, según corresponda, el Ministerio de Energía deberá fijar estándares de eficiencia energética que consistirán en metas de rendimiento energético, los que se establecerán mediante resolución suscrita conjuntamente con el Ministro de Transportes y Telecomunicaciones, y que entrará en vigencia una vez transcurridos veinticuatro meses desde su publicación en el Diario Oficial.

... Los responsables del cumplimiento del estándar de eficiencia energética serán los importadores o los representantes para cada marca de vehículos comercializados en Chile, que estuvieren habilitados para emitir certificados de homologación individual, en el caso de vehículos livianos y medianos, o habilitados para emitir certificados individuales de cumplimiento del decreto supremo N° 55, de 1994, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, o el que lo reemplace, en el caso de **vehículos pesados...**"

La ley de Eficiencia Energética, del Ministerio de Energía, define, entre otras cosas, estándares vehiculares de eficiencia energética para el parque de vehículos motorizados nuevos. Estos estándares son metas de rendimiento energético promedio. El cumplimiento o incumplimiento del estándar es medido con respecto al promedio (de rendimiento y peso) de las ventas de una marca o marca/importador. Como una manera de incentivar el aumento de oferta de vehículos eléctricos, se incluye la posibilidad de contar hasta tres veces en el cálculo de dicho promedio, el rendimiento de cada vehículo eléctrico o híbrido con recarga eléctrica exterior. Por otro lado, se define el hidrógeno como un combustible, por lo tanto, puede ser regulado por el Ministerio de Energía.

Además, se incluye la facultad al contribuyente de aplicar depreciación acelerada cuando se trata de vehículos eléctricos. La Dirección Nacional o Regional del Servicio de Impuestos Internos, según corresponda, estará facultada para establecer vidas útiles diferenciadas, correspondiente a 3 años para vida útil normal y 1 año para depreciación acelerada.

La Resolución Exenta N°56 (SII), Incorpora a la tabla de vida útil normal y depreciación acelerada a los vehículos eléctricos, híbridos con recarga exterior y otros calificados como cero emisiones. De esta manera, la vida útil normal de estos vehículos que anteriormente estaba establecida en 7 años disminuyó a 3 años, y la depreciación acelerada que era de 2 años disminuyó a 1 año.

La ley indica que, para estos últimos, la resolución a la que refiere este artículo debe ser dictada en un plazo máximo de sesenta meses (diciembre 2026) para vehículos pesados, contado desde la publicación de esta ley (febrero 2021).

Normas actuales de Infraestructura

A continuación se enlista las principales normas,

- Deberán cumplir con las normas del Decreto Supremo Número 47 del año 1992, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones y deberá ser autorizado su funcionamiento por el Secretario Regional Ministerial de Transporte y Telecomunicaciones mediante resolución
- La fiscalización del cumplimiento de las normas contenidas en este decreto esta entregado a Carabinero de Chile y a Inspectores Municipales y del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones sin perjuicio de las sanciones que apliquen los Juzgados de Policía Local, el Secretario Regional podrá iniciar procesos los cuales se podrán aplicar las sanciones de amonestaciones, suspensión de la inscripción en el Registro Nacional e incluso la cancelación de la inscripción
- Sin perjuicio del cumplimiento de las normas del D.S. Nº 47/92, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, lo que deberá ser acreditado documentadamente por el peticionario, el funcionamiento de cada terminal deberá ser autorizado por el Secretario Regional Ministerial de Transportes y Telecomunicaciones competente, mediante resolución.
- Cantidad máxima de vehículos que diariamente podrán utilizar el terminal y el tipo de éstos, de acuerdo con las características de infraestructura física del recinto y lo especificado en las tablas 1 y 2 del artículo 4.13.8 del D.S. Nº 47/92 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- https://dtpm.cl/descargas/Manual%20de%20Terminales%20Urbanos_Final_26.04.05.pdf

Recorridos de la ciudad de Valdivia con potencialidad de ser electrificados

Uno de los aspectos claves que permite la toma de decisión respecto a las estrategias para poder electrificar una flota de vehículos, es lo relacionado con las exigencias operacionales y los niveles de energía que se requieren para operar en determinado lugar.

Para la obtención de antecedentes que permitan estimar el nivel de consumo energético y exigencia operacional que requieren las rutas que operan en Valdivia es necesario estudiar información cinética de los buses que trabajan en tales rutas.

Para esto el trabajo se dividió en dos grandes partes. La primera fue la identificación de las rutas a estudiar, cuya selección fue realizada por Seremi del MTT, quienes nos facilitaron archivos *kml* con la geolocalización de las rutas. La segunda parte fue el levantamiento de datos GPS en terreno por parte del CMM en los recorridos seleccionados por el Seremi, mediante la contratación de personal y el uso de dispositivos celulares, que requirió un programa de mediciones.

Teniendo la información levantada se establecieron criterios para la selección de un bus eléctrico en el mercado, enfocados principalmente en la similitud en términos de tamaño y capacidades

de potencia a los buses que operan en la ciudad, y su diseño virtual lo que permitiría la simulación del bus eléctrico en los distintos recorridos y condiciones.

Metodología empleada para la determinación de rutas con potencial de ser electrificadas

La metodología general que se siguió es descrita en la siguiente figura. En resumen, una vez realizadas las mediciones de GPS para todas las rutas, se obtuvieron los perfiles de conducción a través de una serie de algoritmos. Se diseñó un modelo virtual de bus a partir de la información disponible en el mercado latinoamericano y se simularon los perfiles de conducción bajo tres escenarios. Finalmente, estos resultados permitieron el cálculo de KPI's, con el fin de determinar la factibilidad técnica de electrificar estos recorridos.

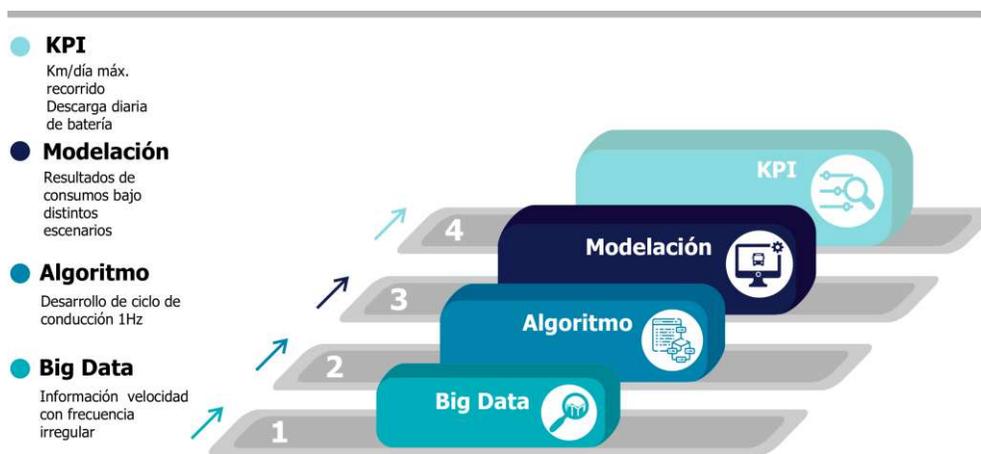


Figura 9. Procedimiento General para el análisis de rutas y la factibilidad técnica de ser incluidas. (Fuente: Elaboración Propia)

Para la selección de los escenarios se consideraron 3 situaciones; el bus con máxima carga de pasajeros posible y la calefacción (HVAC) encendida, este escenario sería el más exigente en términos de demanda energética. La segunda es con una carga moderada (30%), con la calefacción encendida. De esta forma se comparará efectos en la demanda energética debido al peso. Finalmente, la tercera situación, corresponde a la máxima carga, con la calefacción apagada, de esta forma se comparará el efecto del sistema de calefacción sobre el consumo. Los escenarios considerados están descritos a continuación:

Tabla 12. Escenarios considerados en la modelación. (Fuente: Elaboración propia)

Condición Modelación	HVAC	Carga
1	ON	100%
2	ON	30%
3	OFF	100%

Metodología para la Medición de datos GPS y operación de buses en transporte público de Valdivia

Las rutas consideradas en este estudio están detalladas en la Tabla 13. Estas corresponden a las 10 rutas que transitan desde o hacia los alrededores de Valdivia en dirección al centro de la ciudad. En la siguiente figura se observan las georreferencias existentes en la zona.

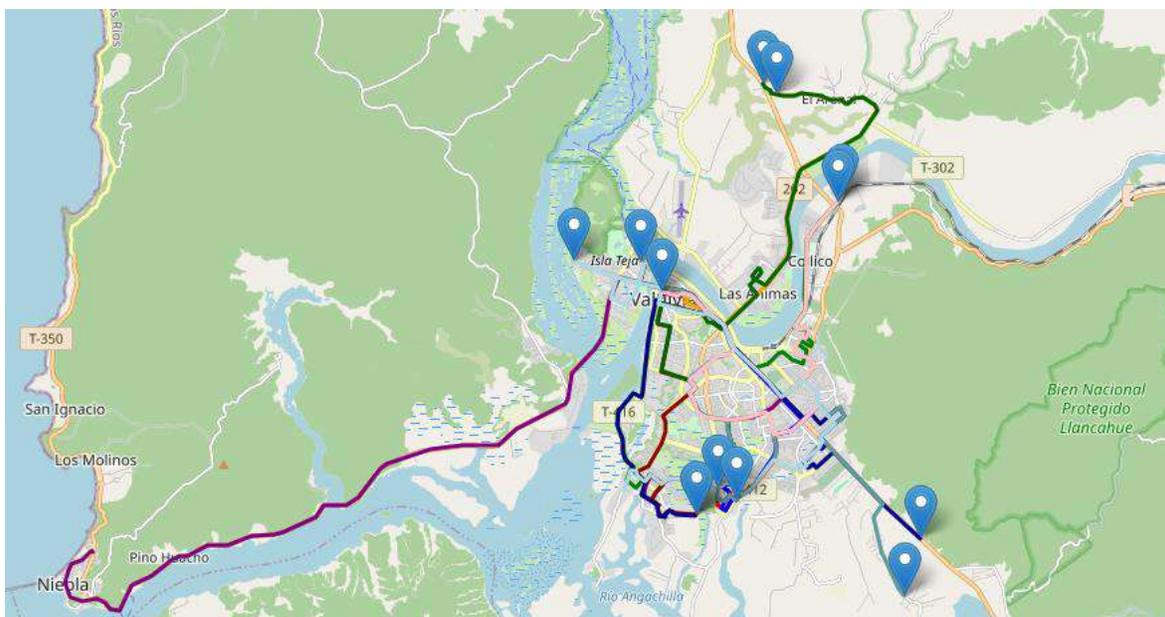


Figura 10. Mapa con georreferencias de las rutas estudiadas en Valdivia. (Fuente: Elaboración propia con datos de Seremi del MTT)

Las mediciones fueron tomadas entre los días 18 y 23 de agosto del 2021. El tiempo estimado de medición se consideró utilizando una velocidad media de 13 km/h y la distancia proporcionada por las rutas de referencia, que corresponden a los puntos de GPS por donde la ruta debería pasar.

Con la velocidad media y distancia de los recorridos, junto con las ubicaciones se desarrolló un plan de mediciones que consideró los puntos de partida y de llegada de las rutas, tiempos estimados de demora, total de personas que realizarán las mediciones y los rangos horarios de operación correspondientes PM, AM y Valle, basadas en la Tabla 14.

En resumen, los medidores se subieron para cada recorrido 1 vez por cada rango de horario, completando 3 mediciones por cada recorrido, en distintos buses. Es importante resaltar que algunas rutas a pesar de que no están etiquetadas como Ida y Retorno en la base de datos de referencia, en las mediciones si se consideró su sentido. Para efectos de análisis generales como velocidades medias, aceleraciones, entre otros, dichas rutas fueron agrupadas. Pero para la creación de los perfiles, fueron consideradas separadas obteniendo un consumo de ida y de retorno. Para el caso de estas rutas los resultados obtenidos de la modelación fueron promediados.

Tabla 13. Nombre de rutas, su distancia de referencia (ida y vuelta), y tiempo estimado de demora para organizar el calendario de mediciones. (Fuente: Tabla de autoría generada con los datos obtenidos.)

Ruta	Origen	Destino	Distancia Ida y Retorno (km)	Tiempo estimado (min)
11	Av. Rene Schneider/Int. Luis Damann Asenio	Independencia / Chacabuco	17.4	80
1	Balmaceda/Santa Elvira	Ing. Raul Saéz/ Circunvalación Nueva Región	31.6	71
20	Circunvalación Nueva Región/Psje Panitao	Cruce Calle Los Robles	59.2	133
20V	Circunvalación Nueva Región/Psje Panitao	Universidad Austral de Chile	21.8	49
22	Camino El Arenal	Independencia / Arauco	21.4	48
2	Camino El Arenal	Av. Pedro Montt/Int. Luis Damann Asenio	35.5	80
3	Av. Ramon Picarte	Circunvalación Nueva Región/Psje Panitao	17.9	80
4	Cruce Ruta 206	Universidad Austral de Chile	36.3	79
5	Balmaceda/Santa Elvira	Independencia / Arauco	27.8	63
9	Av. Los Robles / Camino de Luna	Valdivia - Guacamayo	35	78

Tabla 14. Rangos horarios de Operación para Valdivia. (Fuente: Tabla de autoría generada por el CMM)

Rango	Etiqueta	Nombre
06:00 – 12:00	AM	Mañana
12:00 – 15:00	VA	Valle
15:00 – 22:00	PM	Tarde

Los sistemas para medir el posicionamiento y todas las variables cinéticas asociadas al movimiento de un vehículo están presentes en todos los sistemas de vehículos modernos. Existen en el mercado instrumentos especializados para instalarlos en forma externa y recolectar la información por medio de un computador u otro mecanismo de almacenaje de datos. La ventaja de estos radica en su precisión, la cantidad de parámetros que es posible medir y estabilidad del sistema para realizar las mediciones. Sin embargo, su desventaja son los costos asociados a estos sistemas, y la capacidad para poder realizar las instalaciones, que en general requieren de un conocimiento técnico previo.

Por otro lado, con la mejora tecnológica en los dispositivos móviles, junto con la creación de diversas aplicaciones orientadas a seguimiento y control de parámetros cinéticos, es que actualmente es posible realizar mediciones de GPS y demás parámetros cinéticos. En general estas aplicaciones crean archivos *gpx*, *kml* o *csv* utilizando las posiciones de GPS del celular, miden también la velocidad, altitud, entre otras variables. Lo que reduce costos y simplifica el proceso de medición.

Algunas aplicaciones que pueden ser instaladas en cualquier móvil con Android son:

- Wikiloc, con un margen de error de 20 metros. (<https://sv.wikiloc.com/>)
- GPS logger, con un margen de error de 50 metros. (<https://gpslogger.app/>)
- GPX Viewer, (<https://gpx-viewer.fileplanet.com/apk>)

En general se observa que la precisión mostrada por los móviles es suficiente para poder modelar el vehículo. Para las mediciones en Valdivia se utilizó la aplicación GPS logger en un celular Android.

Previa a la medición se completaron los siguientes pasos:

1. **Preparación de dispositivo:** Definición del celular empleado en la medición e instalación de la aplicación. Para la medición el móvil estaba cargado al 100% y se consideró un cargador portátil.
2. **Test de prueba:** Medición de prueba con la línea 1T. Se observó cómo y qué variables son posible guardar. La prueba consistió en un traslado de un punto a otro de la ciudad de unos 30 min.

3. **Guardado:** Definición del sitio donde se guardarán los archivos y nombres asociados. Cada archivo fue guardado nombrado según:

- *Nombre-Ruta_hh:mm_ddmmAAAA*

Por su parte cada medición consideró los siguientes aspectos:

1. **Previo a la medición:** Identificación mediante el recorrido que realizará. La medición considero desde el terminal o el primer paradero de la ruta hasta el último paradero o terminal.
2. **Durante la medición:** Se aseguró de que el celular no se apagar ni se finalizara la aplicación. Procurando la duración de la batería del dispositivo durante toda la medición.
3. **Posterior a la medición:** Guardado de medición, con el nombre del archivo según cómo se nombró anteriormente. De esta forma fue posible identificar cada medición para cada ruta.

Disponibilidad de buses eléctricos en el Mercado de LATAM

La tabla a continuación muestra información de las características de modelos de buses eléctricos disponibles en distintos mercados de Latinoamérica con largo menor a 10 [m]. La información fue recopilada a partir de fichas técnicas publicadas en las páginas web de los fabricantes, así como información presentada por los mismos fabricantes en talleres y seminarios en distintas ciudades de la región. En general, la información disponible públicamente es poca y para obtener más detalles es necesario contactar a los representantes locales o regionales del fabricante.

Tabla 15. Buses Eléctricos cortos (largo menores a 10 m) disponibles en el mercado de Latino América. (Fuente: Tabla de autoría generada por CMM)

Marca	Largo	Ancho	Alto	PBV (Ton)	Radio giro (m)	Pendiente Máx. (%)	Velocidad Máx. (km/h)	N° de Asientos (#)	Potencia Motor (kW)	Batería (kWh)
	(m)									
SUNWIN	8.6	2.5	3.2	12.9	10	16	69	22	125	221/268 (opcional)
BYD	9.29	2.5	3.55	14.1	12	20	60	16+1 / 29+1	135/200	253
BYD	7.319	2.14	2.946	7.3	7.6	25	100	-	-	135
BYD	8.09	2.42	3.23	10.8	7.8	15	60	15	150/180 (2x 75 kW)	156

BYD	8.807	2.14	2.775	-	11	15	-	-	75/90 (x2)	162
CRRC	8.19	2.4	3.2	12.2	-	15	-	13	80/150	162.2
Foton	8.54	2.45	3.1	13.7	8.5	18	-	23+1	90/135	carga lenta: 209 carga rápida: 129,64
Higer	8.99	2.44	3.25	14.0		18	69	26+1 (+22 pie)	90/155	174
Zhongtong	7.76	2.39	3.26	11.0		27	60	18+1 / 40	130/220	169.2

Método para la Obtención de perfiles de conducción

La siguiente Figura, describe el procedimiento para la obtención de los perfiles de conducción de las rutas consideradas para este estudio.

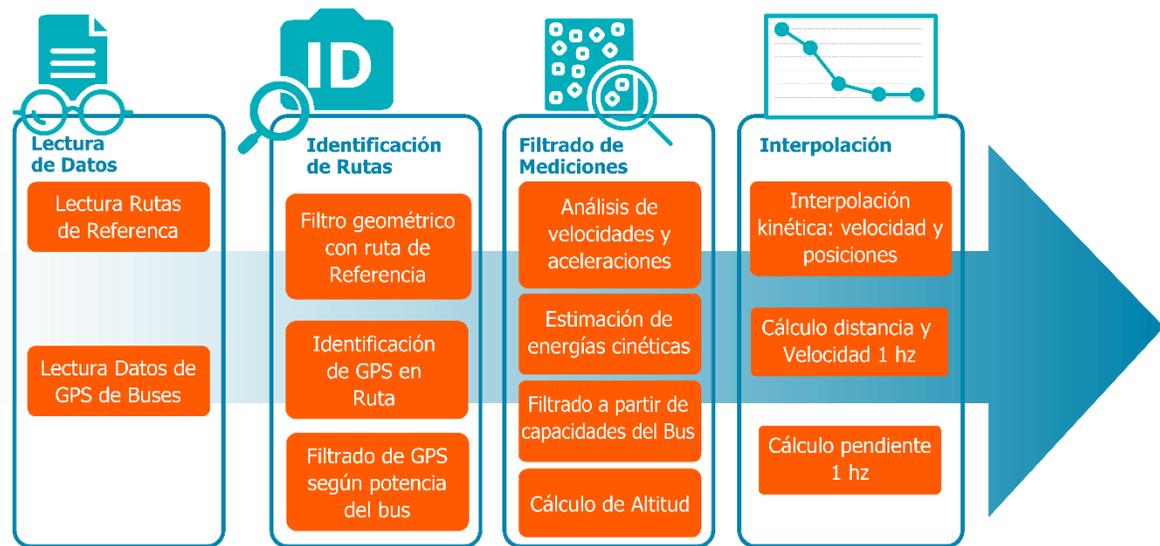


Figura 11. Procedimiento utilizado en Valdivia para la obtención de los perfiles de velocidad, altitud y pendiente. (Fuente: De autoría, CMM)

Los siguientes puntos detallan la metodología utilizada, en general se divide en dos grandes puntos.

1. Lectura e Identificación de rutas

Los datos al ser medidos directamente para cada ruta, no se realizaron filtros geométricos respecto a la ruta de referencia, debido a que los datos estaban correctamente separados según día de medición, horario, ruta y número de medición.

La identificación de los rangos de horario permite la caracterización de la ruta según los horarios de operación, que, a su vez, son indicadores de la demanda del servicio y condiciones de tráfico.

También permite obtener el consumo separado según rangos horarios y poder tener un promedio por cada ruta.

2. Filtrado de Mediciones e Interpolación

Posterior a la identificación de un recorrido, se construyeron los perfiles de velocidad y altitud para la ruta y el rango de operación asociado al recorrido, y que estaba condicionado por la ruta de referencia. Sin embargo, las mediciones asociadas a velocidad y aceleración poseen comúnmente fallas en la medición que pueden deberse a movimientos bruscos del equipo, fallas en la telemetría de la información y/o una mala lectura del equipo por acumulación de errores en la precisión o en la lectura del valor real de los sensores.

Para la eliminación de datos irreales, se realizó un análisis de fuerzas, basado en condiciones ideales de conducción y la máxima capacidad de potencia del motor del bus que operó podía entregar. En condiciones de conducción, las principales fuerzas presentes están relacionadas mediante la Ec.(1),

$$F_{traccion} = m_e a_{vehicle} + \left(\frac{1}{2} \rho_{air} C_{drag} S v_{vehicle}^2 + m_e g C_{rolling} + m_e g \cos(\theta) \right) \quad (1)$$

donde, $F_{traccion}$ es la fuerza de tracción que emplea el vehículo, m_e es la masa equivalente del vehículo, que se consideró 1,6 veces la masa del vehículo en vacío, $a_{vehicle}$ corresponde a la aceleración, ρ_{air} es la densidad del aire, C_{drag} es el coeficiente de arrastre aerodinámico, S es la superficie frontal y $v_{vehicle}$ es la velocidad del vehículo.

A partir de la fuerza de tracción (ver Ec.(1)) empleada por el vehículo es posible calcular la potencia, dada por la Ec.(2).

$$P_{vehicle} = F_{traccion} v_{vehicle} \quad (2)$$

Por otra parte, la potencia máxima a la que un vehículo puede llegar, sin considerar pérdidas, está dada por la aceleración y la velocidad máximas del vehículo, como se ve en la Ec. (3).

$$P_{max} = a_{max}m_e v_{max} \quad (3)$$

Al igual que la potencia máxima ideal, la fuerza de adhesión permite identificar valores de la aceleración irreales. Aquella fuerza de tracción que sea mayor a la fuerza de adhesión máxima posible significa un resbalamiento de las ruedas. La fuerza está dada por la Ec.(4),

$$F_{adhesion} = \mu_{adhesion}m_e g \left(\frac{N_w}{N_T} \right) \quad (4)$$

Método para la Selección y creación del bus virtual

En general la siguiente figura describe los pasos realizados para la creación de los buses virtuales escogidos. Para esta parte fueron elegidos dos buses dentro del total de buses disponibles en el mercado latinoamericano. Los criterios para la selección de los buses, se detallan a continuación.



Figura 12. Metodología utilizada para el diseño de buses virtuales y modelación de perfiles. (Fuente: De autoría, Centro Mario Molina)

Criterios para la selección del bus

Para el proceso de selección de los vehículos eléctricos, debe considerarse criterios de evaluación que atiendan las condicionantes históricos y estéticos de la ciudad, a las limitaciones viales y características técnicas y operativas relevantes de las rutas.

La definición de los criterios tuvo como principal foco que el bus sea capaz de cumplir con las demandas energéticas y operacionales de la región. En este sentido, el enfoque deja de lado, en una primera selección, los criterios económicos, asociados a costos de repuestos, mantenimiento, garantías, entre otros. En este aspecto el único criterio es el relacionado con la existencia de proveedores. La figura a continuación resume los principales criterios considerados para la selección de buses eléctricos.

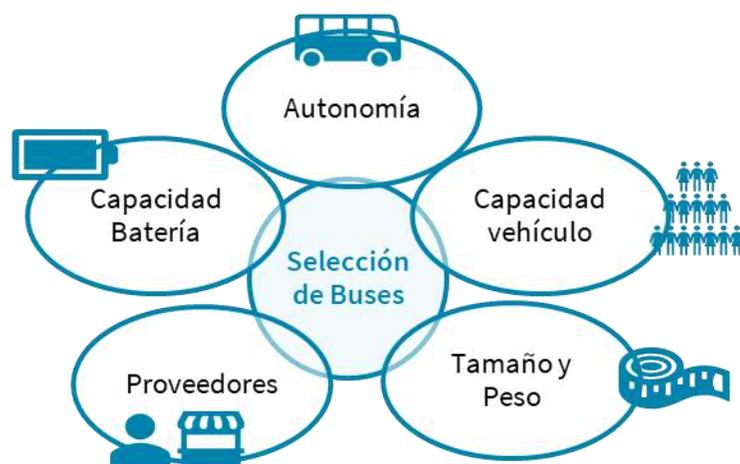


Figura 13. Principales aspectos considerados para la selección de Buses eléctricos.

Aspectos técnicos y operacionales

Como criterios técnicos, se debe considerar: la autonomía del vehículo, que corresponde a la distancia total recorrida en un día de operación, la capacidad de la batería, que se necesita para cumplir con dicha autonomía, y la capacidad de pasajeros, necesaria para cumplir la demanda solicitada de transporte público.

La autonomía es dependiente del consumo que a su vez depende de las condiciones de la ruta. Sin embargo, puede estimarse utilizando la mayor distancia recorrida entre las rutas evaluadas. En este caso, la ruta 20T es la más larga con 29,6 [km], esta distancia puede ser cubierta por cualquier bus eléctrico disponible en el mercado.

En términos de operación, la autonomía mínima requerida estará más bien determinado por el Plan del Servicio Operacional (PSO), que depende de la demanda de pasajeros del servicio y exige por lo tanto un número de vueltas que debe rendir el vehículo en una jornada de operación.

A modo de ejemplo, si se considera una frecuencia de salida de 10 min y se deja de lado por simplicidad las condiciones climáticas, tiempos de descansos y otros factores externos que afecten la frecuencia, la distancia operacional de la ruta 20T será de 2.841 [km]. Si se considera una batería de 129 kWh y un consumo general de 1,1 [kWh/km], la autonomía resulta ser de 117 [km]. En estas consideraciones, el vehículo puede dar aproximadamente 24 vueltas. Esto considerando que el SOC no puede alcanzar valores inferiores al 20% y de esta forma prolongar el SOH, es decir, la vida útil de la batería.

Aspectos viales

A partir de antecedentes proporcionados por los dos informes previos a este, la estructura vial de Valdivia aún requiere mejoras. La cantidad de distancia con doble calzada es de 135,870 [km] para la ciudad de Valdivia, por debajo de la media nacional que es de 208,121 [km] con doble calzada, y aún más comparado con la Región Metropolitana que es cercana a los 600 [km]²². Lo que implica que en general las calles de la ciudad deben ser estrechas y, por lo tanto, es sugerible un bus que tenga la menor distancia entre sus ejes, el menor radio de giro, menor largo y el menor ancho de carrocería; o en su defecto la mejor combinación de dichas características. Por lo mismo los buses que operan en la ciudad poseen una carrocería igual o similar a la de LO 915 de Mercedes Benz²³.

Como la velocidad operativa es reducida (aproximadamente 12 [km/h] promedio) la velocidad máxima del vehículo no es un factor determinante. Tampoco es determinante la potencia máxima ya que la topografía no es de pendiente significativa, ya que las pendientes de las rutas oscilan en promedio entre un 1.5% y -1.5%.

El peso del vehículo también puede ser factor considerando el tipo de pavimento que se encuentra principalmente en Valdivia (ver siguiente tabla). Esto considerando una mayor vida útil de las ruedas del vehículo.

Tabla 16. Comparación del nivel de pavimentación de las calles entre la ciudad de Valdivia y Santiago. (Fuente: Elaboración propia con datos del MOP.)

Ciudad	Red Vial Pavimentada					Soluciones Básicas			Red Vial No Pavimentada			Total [Km]
	Asf. [Km]	Horm. [Km]	Asf./Horm. [Km]	Caminos Básicos Interm. [Km]	% Pavimentado	Capa Protección [Km]	Granular Estabilizado [Km]	% Camino Básico	Ripio [Km]	Tierra [Km]	% No Pavimentado	
Stgo.	321,782	20,878	23,575	0,000	92.37%	29,998	0,000	7.57	0,260	0,000	0.07%	396,493
Vald.	523,955	52,479	79,174	25,980	23.35%	475,984	4,929	16.48	1,584,793	171,092	60.17%	2,918,386

Aspectos post-ventas

Las compras de buses, normalmente, son decisiones de larga duración. Por lo anterior el post venta del fabricante debe ser factor determinante en la decisión de compra. La existencia de dealers locales o *market company*, junto con la experiencia internacional, el fabricante y la existencia de talleres autorizados son esenciales para que el vehículo elegido tenga una alta disponibilidad operativa.

²²

<https://vialidad.mop.gob.cl/areasdevialidad/gestionvial/Documents/RedVialNacional%20DimensionamientoCaracteristicas2020.pdf>

²³ Como referencia: https://www.mercedes-benz-bus.com/en_NG/models/lo-915.html

Es importante considerar la experiencia de los fabricantes elegidos en operaciones internacionales y la existencia de repuestos en la región para garantizar el éxito de la operación. También se debe verificar la posibilidad de contar con contratos de mantenimiento y de transferencia de conocimiento de manera de garantizar el escalamiento del uso de buses eléctricos en futuros proyectos.

Un último detalle importante es considerar la decisión de tener proveedores de *chasis más carrocería* o *monocasco*. Lo anterior para evitar problemas y dificultades con respecto a repuestos en operaciones de bajo volumen. Es decir, disminuir la necesidad de contar con diversos proveedores. En el caso de Valdivia, son pocos los proveedores de buses eléctricos y por lo tanto no existen aún marcas o modelos que puedan mostrar una ventaja sobre este punto.

Inclusión de Elementos especiales

Con relación a la conexión del transporte público de buses con otros medios no motorizados, en distintas ciudades se ha incorporado la instalación de racks para bicicletas en los buses urbanos. En la región latinoamericana se han realizado distintos pilotos que incluyen estas características. A finales del año 2020, en la ciudad de Aguascalientes, México, se instalaron 10 racks para bicicletas en buses diésel de la ruta 41, piloto llevado a cabo por la Coordinación General de Movilidad (CMOV) de la ciudad. En el caso de Chile, el año 2018 se realizó un piloto en una ruta que conectaba la zona poniente con el centro de la ciudad de Santiago, la idea era aumentar un 25% el uso de esta ruta al incorporar esta característica al bus. En cuanto a la evaluación de este piloto, no se ha encontrado mayor detalle, pero hasta la fecha no se han incorporado racks para bicicletas en otras unidades de buses en la ciudad.

En el contexto de pandemia, han surgido de forma acelerada distintas iniciativas para disminuir riesgos de contagios en el uso del transporte público. Es así como Caio, fabricante brasileño de buses, presentó su programa “Caio Protect” el cual incorpora diferentes elementos de bioseguridad, tales como²⁴:

- Tejido antiviral
- Kit de protección en la cabina del conductor
- Indicador de temperatura
- Purificador de aire
- Desinfectantes de manos

²⁴ <https://www.fanbus.cl/2021/01/las-soluciones-caio-protect-promueven-la.html>

Desarrollo del bus virtual

Como Centro Mario Molina Chile, ya se cuenta con experiencia en desarrollo de buses virtuales para el estudio de factibilidad por medio de modelaciones. En colaboración con el Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), se desarrollaron dos modelos virtuales del bus BYD K9 descritos en los siguientes párrafos, correspondientes a 2 versiones del bus que llegaron a Chile.

El primer modelo corresponde a la versión que estuvo en demostración en Santiago, con baterías de 324 [kWh] y dos motores de 90 [kW] de potencia máxima cada uno. Este modelo fue desarrollado a partir de pruebas realizadas con el apoyo del VTT bajo el ciclo de conducción de buses Braunschweig y una prueba desarrollada por el 3CV bajo el ciclo TS-STGO, definido en la Resolución 2243 Exenta del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones del 2018. En las pruebas se considera al ciclo con una pendiente constante de 1.4% y sin ella.

Tabla 17. Comparación entre pruebas laboratorio 3CV y simulación para un bus virtual. (Fuente: Elaboración propia)

Bus	Ciclo de Conducción	Consumo de energía Laboratorio 3CV [kWh/km]	Consumo de energía Simulado con Bus Virtual [kWh/km]
BYD K9 FE Versión 1	TS-STGO 0% AC off	1,45	1,323
	TS-STGO 1.4% AC off	2,0	1,841
BYD K9 FE Versión 2	TS-STGO 0% AC off	1,206	1,277
	TS-STGO 1.4% AC off	1,828	1,811
	TS-STGO 0% AC on	1,338	1,438
	TS-STGO 1.4% AC on	1,828	1,902
	Braunschweig 0% AC on	1,116	1,01
	Braunschweig 1.4% AC off	1,5	1,43

Para la modelación fue elegido 1 bus dentro del total de buses disponibles en el mercado latinoamericano. Sus características generales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 18. Valores utilizados en modelo virtual del bus Bus A. (Fuente: Elaboración propia)

Bus	Largo	Ancho	Alto	GWVR [kg]	Peso vacío [kg]	Capacidad Asientos	Potencia Motor [kW]	Capacidad Batería [kWh]	Tipo de Batería
Bus A	8.54	2.45	3.1	13700	9300	23 + 1	90 - 135	129	LFP/LMO

Una vez seleccionado el Bus, deben definirse una serie de parámetros que determinan la construcción del bus virtual. En general, estos parámetros pueden dividirse en tres grupos:

- Parámetros determinados por el diseño del bus (PBV, área frontal, tamaño de la batería, entre otros)
- Parámetros determinados por las condiciones del medio de conducción (coeficientes de rodamiento, coeficientes aerodinámicos, entre otros)
- Parámetros determinados por las condiciones de operación (Encendido de Aire, Peso del vehículo, entre otros)

Los parámetros asociados al medio de conducción y de operación se van variando para ajustar el modelo a las condiciones de la ciudad y, por lo tanto, el rendimiento esté dentro de los valores esperables de operación, mientras que los parámetros determinados por el diseño del bus permanecen generalmente constantes. La siguiente tabla detalla las principales condiciones de la calibración. Para el caso de Valdivia, se utilizó un sistema de calentamiento (HVAC).

Tabla 19. Condiciones para calibración. (Fuente: Elaboración propia)

Parámetro	Valor
Heating Ventilation Air Conditioning (HVAC)	Encendido (HVAC ON)
Carga	Peso en Vacío + 2 personas 80 kg

A partir de las mediciones realizadas en el 3CV, se calibró el modelo virtual. En resumen, se diseñó un bus virtual en un programa para la construcción de vehículos virtuales, con las mismas características dadas por la ficha técnica del fabricante del bus real. Se simuló el bus bajo el ciclo TS-STGO con pendiente constante 1,4%, que corresponde a un ciclo estandarizado por el MTT y del cual se poseen datos de mediciones del bus real, realizadas por el 3CV en sus laboratorios. Los parámetros nombrados anteriormente se fueron modificando para ajustar el modelo virtual al bus real medido en el laboratorio, hasta que los valores obtuvieran un mínimo de diferencia menor, cuidando de no sobreajustar el modelo. La siguiente tabla detalla los resultados de la calibración.

Tabla 20. Resultados de calibración, comparado con mediciones en 3CV. (Fuente: Elaboración propia)

Bus	Ciclo de Conducción	Consumo de energía Laboratorio 3CV [kWh/km]	Consumo de energía Simulado con Bus Virtual [kWh/km]
Bus A	TS-STGO 1.4% AC ON	1,24	1,27

Una vez realizadas las mediciones para cada perfil, se definió una frecuencia de salida. Debido a que no se tenía información directa de las empresas que operan las rutas, se consideró un valor general. Este valor junto con la distancia de cada recorrido fue posible calcular los siguientes KPI's para cada una de las rutas:

- Consumo (kWh/km)
- Autonomía (km)
- N° Máximo de Vueltas

Resultados para Valdivia

A continuación, los resultados del procedimiento descrito en la metodología.

Caracterización de la Operación

Los modos de conducción pueden ser medidos o caracterizados mediante el parámetro de aceleración relativa positiva (RPA, Relative Positive Acceleration), dada por la siguiente fórmula:

$$RPA = \frac{\sum(v_i \cdot a_i^+ \Delta t_i)}{d}$$

donde a_i^+ es la aceleración positiva instantánea, v_i es la velocidad en el punto i mientras que Δt_i es el intervalo que transcurre para llegar a esa velocidad, respecto de la velocidad o aceleración anterior, finalmente d corresponde a la distancia total recorrida para todos los puntos considerados.

Por otra parte, el parámetro $P_{95^{th}}[(v \cdot a^+)_i]$ corresponde al percentil 95 del producto entre la velocidad (v) y la aceleración positiva (a^+) en cada punto del trayecto. Al igual que la RPA, está relacionado con un modo de conducción. Estos parámetros se utilizan como parámetros determinantes para realizar pruebas en de conducción real (RDE), donde se miden las emisiones y consumos de energía en condiciones de conducción reales²⁵.

La siguiente tabla y figura muestra la gráfica de caja de las velocidades agrupadas por rangos horarios. A diferencia de lo que se espera, en el horario AM se encuentran las mayores velocidades de operación, siguiéndole el rango Valle y finalmente el PM. Se espera que al igual que en el PM debido a la alta demanda y tráfico en las calles, las velocidades en AM fuesen menores. Esto puede deberse al efecto pandemia, considerando que, durante la toma de datos, la ciudad estaba recién comenzando a retomar el funcionamiento normal.

²⁵ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261921005444>
https://theicct.org/sites/default/files/publications/RDE_India_Position%20Brief_20180531.pdf

Tabla 21. Valores de RPA, $P_{95^{th}}[(v \cdot a^+)_i]$ y velocidades medias agrupadas por rango horario.

Rango Horario	RPA [m/s^2]	$P_{95^{th}}[(v \cdot a^+)_i]$ [m^2/s^3]	Velocidad [km/h]	Media
AM	0.045	4.333	11.115	
PM	0.047	4.579	10.662	
VA	0.033	4.243	10.988	

El RPA y las aceleraciones positivas por su parte, si reflejan modos de conducción más acorde a las condiciones de tráfico dados por el rango de horario. En general, la agresividad dependerá de las velocidades medias y máximas por donde transita el vehículo. En este caso, los valores entre en RPA 0.02 y 0.10 (m/s^2) significan un modo de conducción suave, sobre 0.20 transita a un modo de conducción más agresivo²⁶. Esto lo corrobora los valores del parámetro $P_{95^{th}}[(v \cdot a^+)_i]$, en donde para una velocidad media menor a 15 km/h (~ 3 m/s), los valores no deben superar los 10 (m^2/s^3).

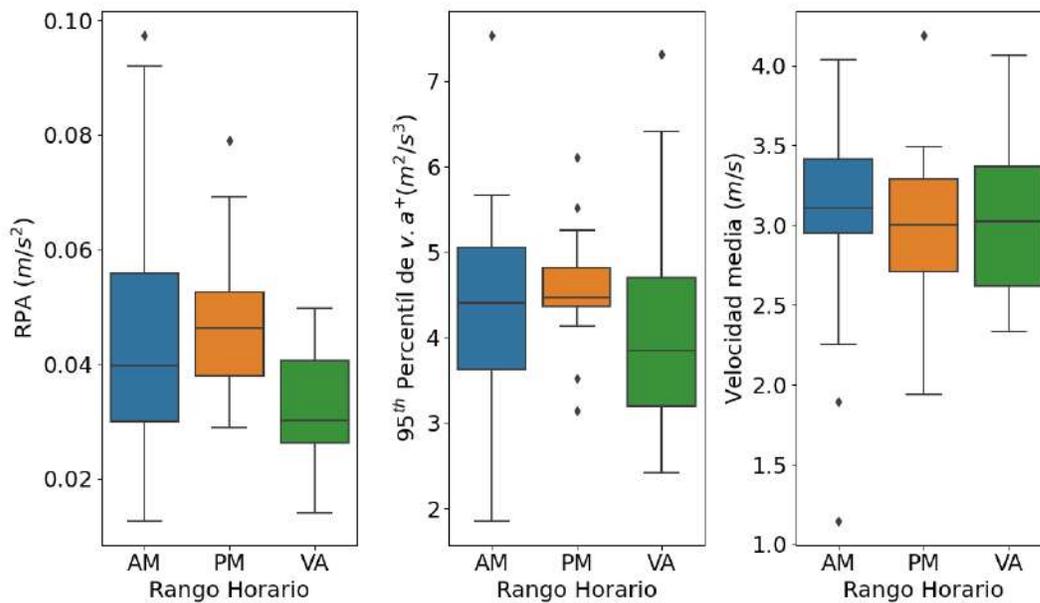


Figura 14. Gráfica de caja para valores de RPA, $P_{95^{th}}[(v \cdot a^+)_i]$ y velocidades medias agrupados por Rango de Horario.

En más detalle, la tabla y la figura a continuación muestra los valores de RPA y $(v \cdot a^+)_i$ para cada ruta por separado. Se pueden apreciar distintos modos de conducción. Estos modos pueden

²⁶ Idem

asociarse posteriormente al nivel de consumo que se modele para cada ruta. En el caso del horario valle, no todas las rutas pudieron ser medidas.

Tabla 22. Valores de RPA, $P_{95^{th}}[(v \cdot a^+)_i]$ y velocidades medias en detalle para cada ruta, agrupada por rango horario.

Rango Horario	Ruta	RPA [m/s^3]	$P_{95^{th}}[(v \cdot a^+)_i]$ [m^2/s^3]	Velocidad [km/h]	Media
AM	1	0.061	4.64	12.04	
	11	0.066	4.24	9.53	
	2	0.031	3.75	11.42	
	20	0.033	4.66	12.06	
	22	0.039	1.86	4.13	
	3	0.033	4.33	11.58	
	4	0.038	5.06	9.67	
	5	0.050	5.19	12.02	
	9	0.075	4.31	12.44	
PM	1	0.058	4.59	11.47	
	11	0.067	4.44	10.01	
	2	0.044	4.67	9.97	
	20V	0.038	4.56	11.53	
	22	0.040	4.33	9.78	
	3	0.045	4.38	11.46	
	4	0.035	3.87	8.37	
	9	0.054	5.81	11.42	
	VA	1	0.032	3.20	10.14
20		0.041	3.40	14.63	
20V		0.029	4.13	12.78	
22		0.017	2.95	10.19	
4		0.043	6.16	9.68	

Como ya se mencionó, el modo de conducción puede ser asociado a cada uno de los siguientes parámetros: RPA, velocidad media y el parámetro $P_{95^{th}}[v \cdot a^+]$. La figura 7 refleja este comportamiento y es posible observar un modo de conducción para cada ruta. En particular los valores de RPA, se ven todos los valores menores a 0.1 por lo que son suaves. Habiendo rutas donde en general presentan modos de conducción más constantes y suaves que otras, como en los casos de la línea 2, línea 20, 22, por nombrar algunas. Mientras por ejemplo la ruta 9, presenta mayores variaciones en términos de suavidad-agresividad.

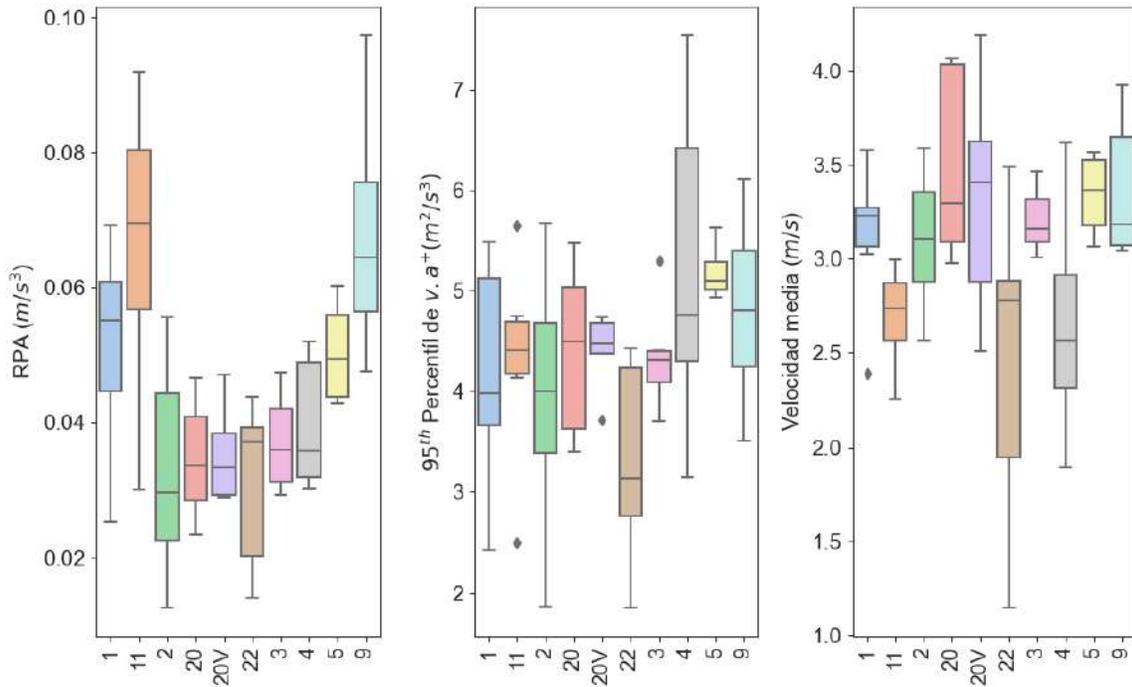


Figura 15. Gráfica de caja para valores de RPA, $P_{95th}[(v \cdot a^+)_i]$ y velocidades medias para cada ruta.

Por su parte el parámetro $P_{95th}[(v \cdot a^+)_i]$ es un parámetro que permite identificar tipo de vías (rurales, carreteras o en ciudad), los valores son todos menores a 30 km/h (~ 7 m/s), lo que nos indica que los buses transitan principalmente dentro de la ciudad, valores sobre 60 se asocian a vías rurales y sobre 90 a carreteras. La variación en general también puede indicar características del recorrido, ya que entre mayor dispersión implican vías que pueden alcanzar mayores velocidades, pero que también requieren constantes paradas, y eso se debe tanto al tráfico, como a las velocidades máximas permitidas, a la demanda de pasajeros que hacen detener al bus y a lo curvado que es el recorrido del bus. El caso de la ruta por ejemplo de la 3 y 20V son rutas cuyo recorrido es en la totalidad dentro del centro de la ciudad, en avenidas principales, sin muchas curvas, esto sumado a modos de conducción suaves, explicarían su baja variación respecto a los otros recorridos.

Mientras que en el otro extremo se encuentra la ruta 4, cuyo recorrido es por calles más pequeñas, para luego pasar a avenidas más principales. El modo de conducción también afecta a este parámetro y también el tipo de vía por el que conduce, que en este caso como se mencionó corresponde a zonas urbanas principalmente. La siguiente figura compara los recorridos a modo de ejemplo de la ruta 4 y 3.

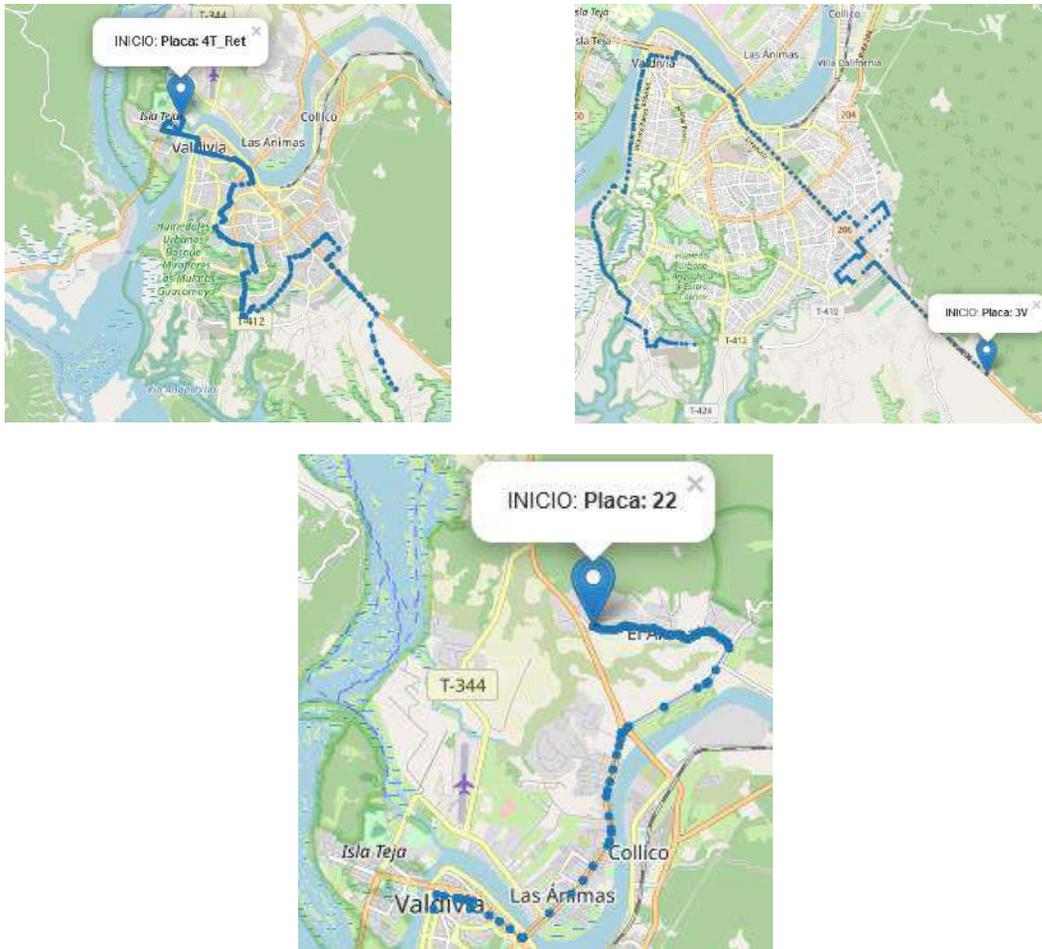


Figura 16. Mapas de las rutas 4T retorno, 22 y 3.

Finalmente, la velocidad media da cuenta de las velocidades crucero generales de la ruta. En la gráfica puede verse las distintas velocidades promedio con las que operaron y su variación. En comparación a otras regiones, son las velocidades típicas que se pueden encontrar en la operación de buses en el transporte público, velocidades que van desde 7 a 13 km/h en promedio. Las variaciones indican principalmente rutas cuyos recorridos transitan por vías más propensas a cambios en el tráfico, demanda de pasajeros. En este sentido, por ejemplo, la ruta 22 posee modos de conducción principalmente más suaves en comparación a las otras rutas. Su parámetro $P_{95th}[v \cdot a^+]$, es un valor bajo en comparación al resto, por lo que su recorrido debe ser principalmente por calles principales o doble vía, que no requieran acelerar constantemente debido al frenado, mientras que la variación en la velocidad media, indica un cambio en las velocidades del recorrido que podrían deberse a cambios a lo largo del día debido a condiciones de tráfico. La figura anterior muestra un mapa de la ruta 22 y su principal trayecto es por la calle Pedro Aguirre Cerda, de doble vía y al ser una avenida principal, debe ser una vía que se ve afectada por el tráfico en horas punta.

Cómo es posible apreciar, los parámetros mencionados permiten poder identificar más factores o condiciones asociadas a los recorridos. Es decir, poder separar el modo de conducción del conductor, de las condiciones del tráfico y de las condiciones del trayecto por donde transita el bus. Esto es importante a la hora de poder mejorar recorridos, o establecer estrategias de operación (tiempos y horarios de recarga de batería, frecuencias de salidas, etc.) con recorridos que puedan tener una mayor carga operacional o trayectos más difíciles.

A partir del procedimiento descrito en la sección *Obtención de perfiles de velocidad y altitud para Valdivia*, se obtuvieron un total de 64 perfiles de conducción, separados por ruta, rango horario y número asociado a la medición.

Cada perfil de conducción está compuesto por un perfil de pendiente, altitud y velocidad. En general todas las gráficas tienen una forma similar a la que se muestra en las siguientes figuras que describen el perfil para la ruta 1 en sentido *Ida*²⁷.

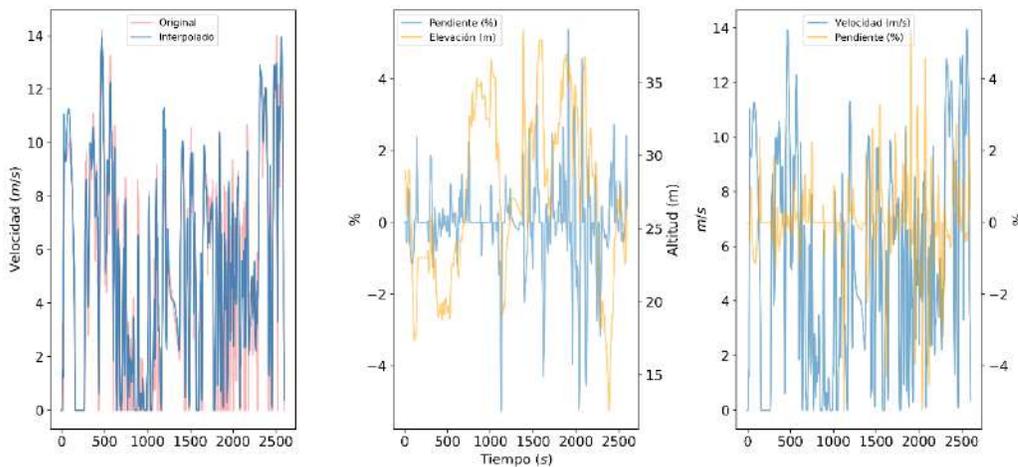


Figura 17. Perfil de velocidad, pendiente y altitud para la ruta 1, horario AM.

Las gráficas muestran el perfil de conducción de la ruta 1 en los distintos rangos horarios. El perfil de conducción consiste en un perfil de velocidad (km/h), perfil de altitud (m) y perfil de pendiente (%). La primera gráfica de velocidad también muestra el perfil original medido y se compara con el interpolado, luego de filtrar datos de GPS que corresponden a potencias o capacidades irreales del bus. Por su parte, la gráfica de al medio, corresponde al perfil de pendiente, en comparación al perfil de elevación o altitud, obtenido después de filtrar e interpolar la data.

²⁷ Cómo se explicó previamente, la ruta en referencia no posee ida y retorno, sin embargo, para las mediciones se consideró el sentido.

De esta gráfica se comprueba que la altitud permanece constante cuando la pendiente es cero. La última gráfica de la izquierda por su parte corresponde al perfil final de velocidad junto con el perfil de pendiente, en él se corrobora que cuando la velocidad es cero, la pendiente debe serlo también. Las comprobaciones entre las variables son necesarias luego del proceso de interpolación y suavizado, pues pueden generar puntos irreales en donde por ejemplo exista un cambio en la pendiente, pero la altitud se mantuvo constante.

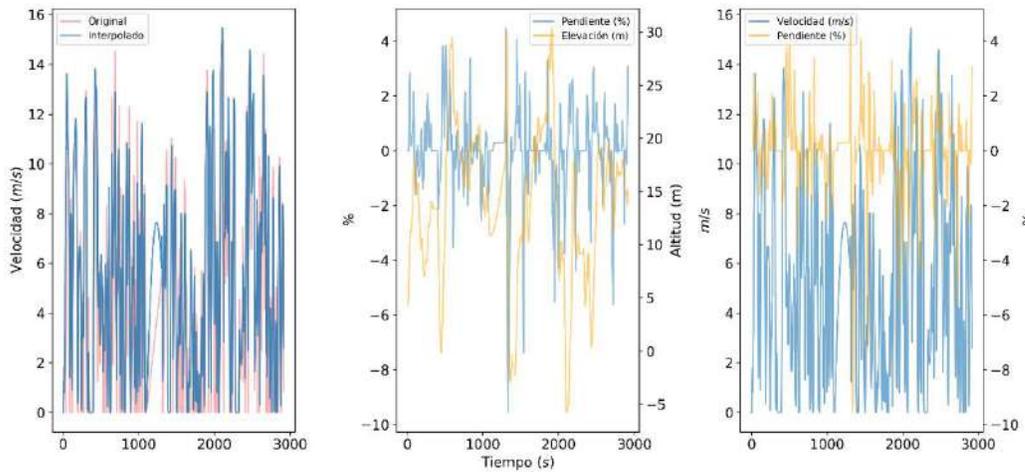


Figura 18. Perfil de velocidad, pendiente y altitud para la ruta 1T, horario PM.

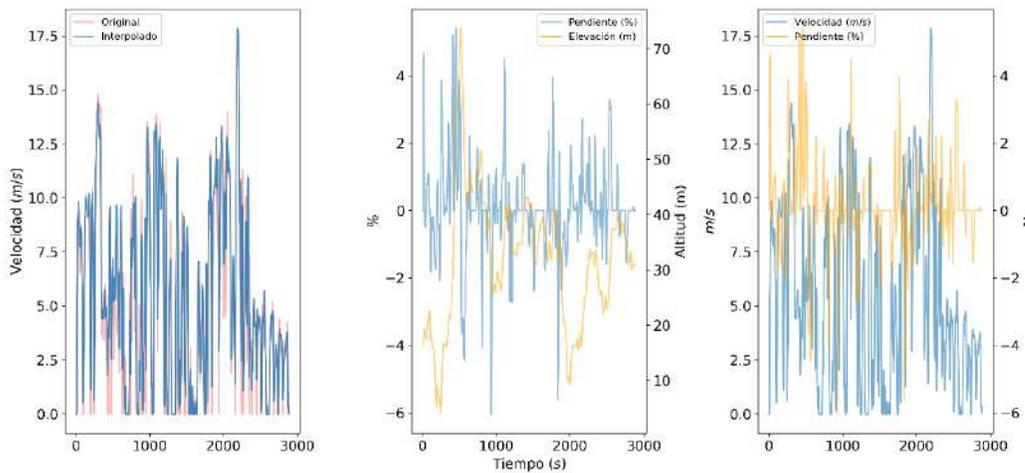


Figura 19. Perfil de velocidad, pendiente y altitud para la ruta 1T, horario VA. .

Los distintos rangos horarios permiten apreciar que, a pesar de transitar el mismo recorrido, se pueden obtener distintos perfiles de conducción, tanto en la pendiente, como en la velocidad. En esto influyen los factores como el modo de conducción (asociado al conductor), tráfico, condiciones climáticas del día, condiciones de la máquina, entre otros.

Modelación de BEBs en Valdivia

Las gráficas y tablas a continuación resumen los resultados de la modelación. En general los consumos obtenidos en Valdivia son bajos en comparación a otras zonas. Las autonomías, que dependen del tamaño de la batería y el consumo de la ruta, van desde los 80 km hasta aproximadamente los 160 km.

En general se puede ver que en los horarios PM y AM presentan los mayores niveles de consumo como es esperable en horario valle. De la misma forma, la autonomía es mayor en horario valle. También se puede apreciar que ninguna de las rutas presenta una complicación técnica para la completitud de la ruta.

Para un análisis más profundo sobre la exigencia operacional es necesario contar con un plan operacional que considere la exigencia de demanda de buses, y que determina la frecuencia de salida para cada ruta para cada bloque de horario de operación, que está establecido a través de la regulación del perímetro de exclusión.

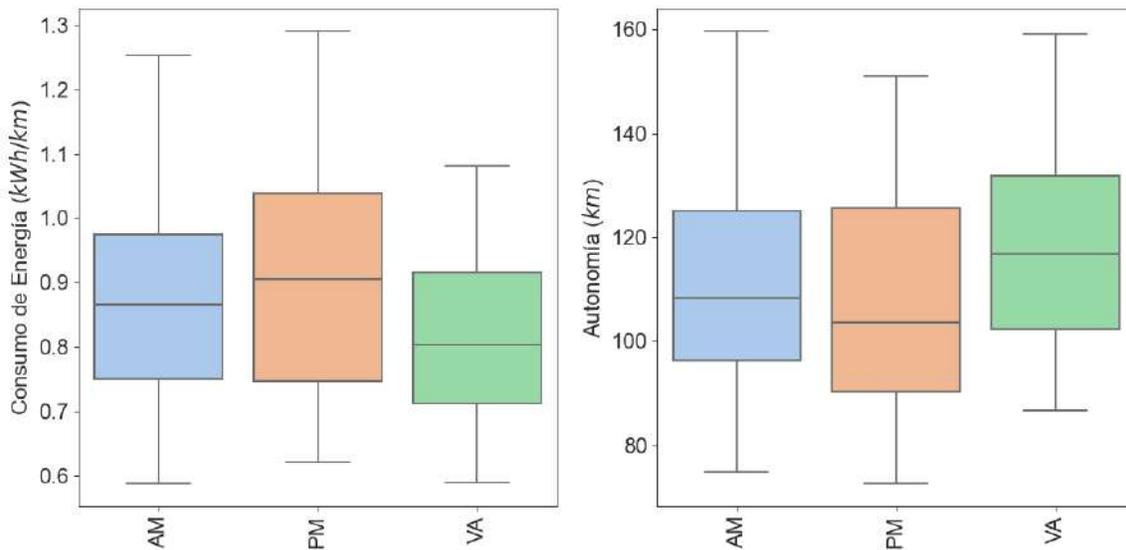


Figura 20. Consumos de energía y Autonomía agrupados por rango horario.

La Figura 20 describe en forma de gráfica de caja, los consumos y autonomías según el rango de horario. Los valores permiten comparar las distintas condiciones de conducción asociadas al rango de horario en que operan. Como se mencionó es esperable que, en los horarios de mayor demanda vial, esto es, en los horarios AM y PM, exista un mayor consumo, pues se asocia a esto mayores tiempos de espera, mayores aceleraciones y desaceleraciones debido a que son horas

donde en la ciudad existe mayor número de desplazamiento de vehículos y personas. Así mismo, las autonomías son menores en estos horarios de operación.

Tabla 23. Valores promedio, máximos, mínimos y desviaciones estadísticas de Consumo Eléctrico y Autonomía agrupados por rango horario.

Rango Horario	Parámetro	Promedio	Max.	Mín.	Desv. Estd.
AM	Autonomía [km]	111.7	159.7	74.9	19.6
	Consumo de Energía [Kwh/km]	0.9	1.3	0.6	0.2
PM	Autonomía [km]	107.6	151.1	72.7	19
	Consumo de Energía [Kwh/km]	0.9	1.3	0.6	0.2
VA	Autonomía [km]	117.6	159.2	86.7	19.5
	Consumo de Energía [Kwh/km]	0.8	1.1	0.6	0.1

La gráfica y tabla a continuación separa los consumos y autonomías por ruta. Las rutas ordenadas a partir de menor a mayor consumo son como sigue: 20V, 2, 20, 22, 5, 3, 1, 11, 4 y 9.

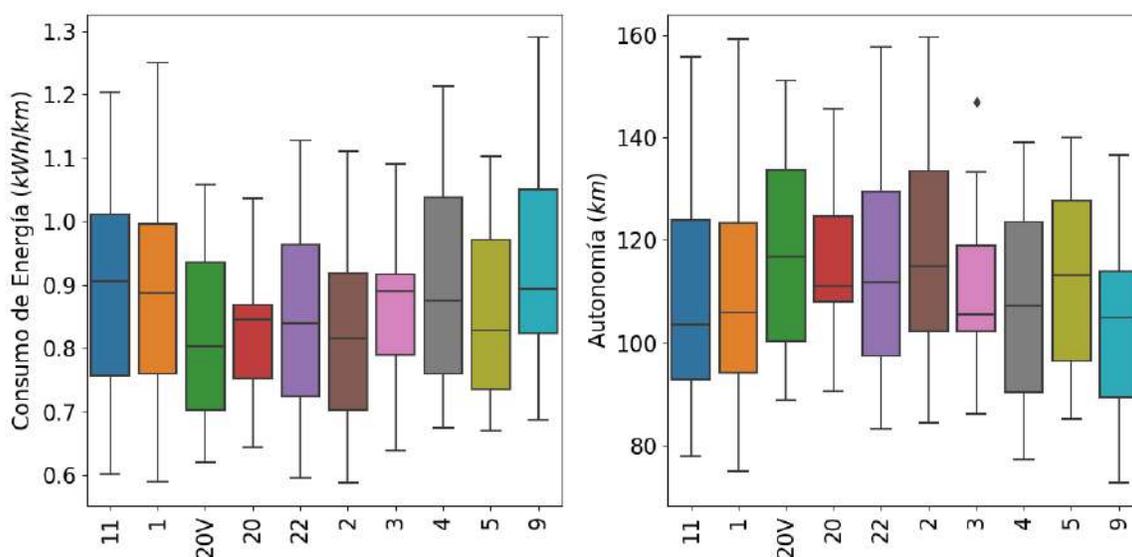


Figura 21. Gráficas de caja del consumo de energía y autonomía para cada una de las rutas.

Tabla 24. Valores promedio, máximos, mínimos y desviaciones estadísticas de Consumo Eléctrico, Autonomía y Número de Vueltas para cada ruta.

Rutas	Parámetro	Promedio	Máx.	Mín.	Std.
1	Autonomía (km)	109.9	159.2	75	21.9
11		108.6	155.8	77.9	21.7
2		116.8	159.7	84.4	20.9
20		113.9	145.7	90.6	15.7
20V		117.3	151.1	88.8	18.8
22		114.4	157.7	83.2	21.9
3		109.3	147	86.1	16.5
4		107.1	139.1	77.3	18.1
5		113	140.1	85.1	19
9		103.8	136.7	72.7	19.8
1	Consumo (kWh/km)	0.9	1.3	0.6	0.2
11		0.9	1.2	0.6	0.2
2		0.8	1.1	0.6	0.1
20		0.8	1	0.6	0.1
20V		0.8	1.1	0.6	0.1
22		0.8	1.1	0.6	0.2
3		0.9	1.1	0.6	0.1
4		0.9	1.2	0.7	0.2
5		0.9	1.1	0.7	0.1
9		0.9	1.3	0.7	0.2
1	Nº de Vueltas	3.5	5	2.4	0.7
11		6.2	9	4.5	1.2
2		3.3	4.5	2.4	0.6
20		1.9	2.5	1.5	0.3
20V		5.4	6.9	4.1	0.9
22		5.3	7.4	3.9	1
3		3.1	4.1	2.4	0.5
4		3	3.8	2.1	0.5
5		4	5	3	0.7
9		3	3.9	2.1	0.6

El modo de conducción también juega un papel importante en lo que respecta al consumo. Como se nombró previamente, el modo de conducción está asociado a las aceleraciones y velocidades



medias asociada a la ruta o tipo de trayecto (calle, carretera, etc.). La variable RPA y el parámetro $P_{95th}[(v \cdot a^+)_i]$ permiten medir este parámetro para cada conductor.

La siguiente gráfica muestra el consumo respecto a estas dos variables, agrupadas por rango horario. El tamaño del punto se asocia a la autonomía. Existe una correlación no lineal entre las variables, por el nivel de dispersión, pero si una tendencia al aumento en el consumo cuando los valores tanto de RPA como de $P_{95th}[(v \cdot a^+)_i]$ aumentan.

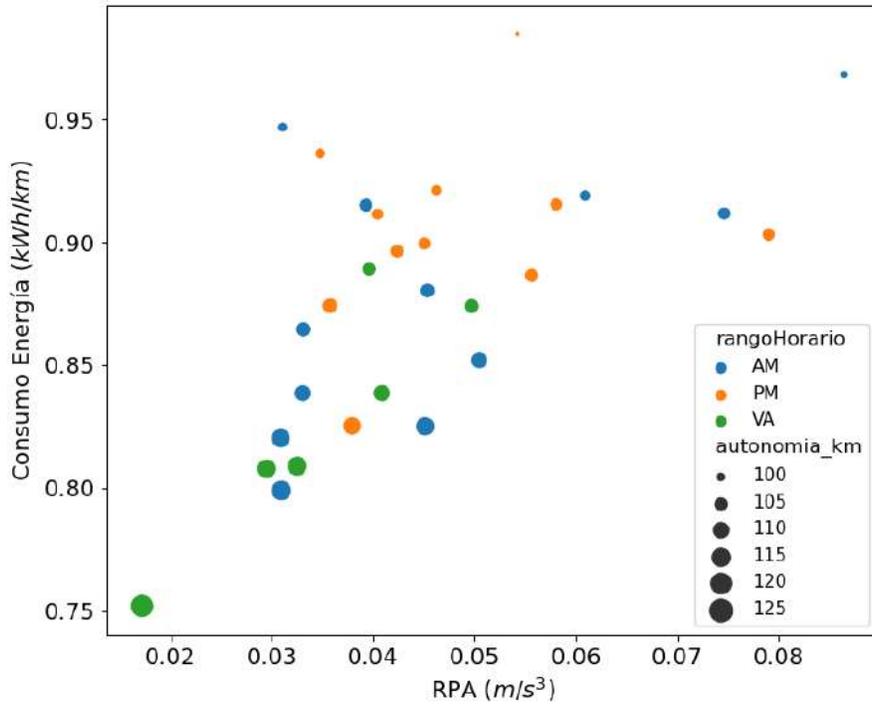


Figura 22. Relación entre el parámetro RPA y el Consumo de Energía.

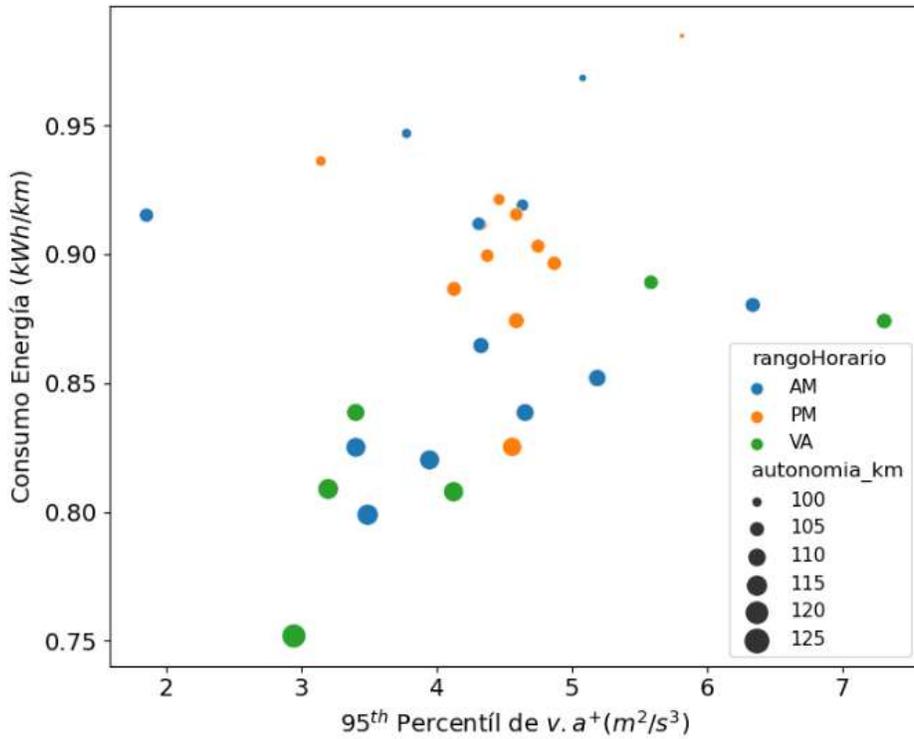


Figura 23. Relación entre el parámetro $P_{95th}[(v \cdot a^+)_i]$ y el Consumo de Energía.

Comparación de las condiciones de modelación

Las gráficas y tablas a continuación resumen los resultados de las modelaciones bajo las 3 condiciones de modelación nombradas anteriormente. En ellas se puede apreciar lo siguiente:

- Los consumos promedios, así como su desviación, resultaron ser bajas en comparación a otras zonas de estudio.
- El apagado de la calefacción refleja un cambio un poco menor en el desempeño del bus en comparación a la carga. La diferencia del desempeño en términos de consumo entre HVAC ON y HVAC OFF resultó ser del 16.83% ,respecto del HVAC encendido.
- Los cambios en la condición de carga (30% y 100%) representaron un cambio del del 17.57% en el desempeño del bus. Este cambio en general es menos significativo en comparación con el cambio en el HVAC, para el caso del bus utilizado en Valdivia resultado mayor.

Tabla 25. Valores estadísticos del Consumo de Energía (kWh/km), según condición de modelación.

Carga	HVAC	Promedio	Desv. Est.	Mín.	25%	50%	75%	Máx.
100%	ON	1.036	0.096	0.823	0.960	1.038	1.089	1.291
30%	OFF	0.734	0.089	0.588	0.674	0.712	0.776	0.983
30%	ON	0.868	0.068	0.712	0.819	0.869	0.915	1.045

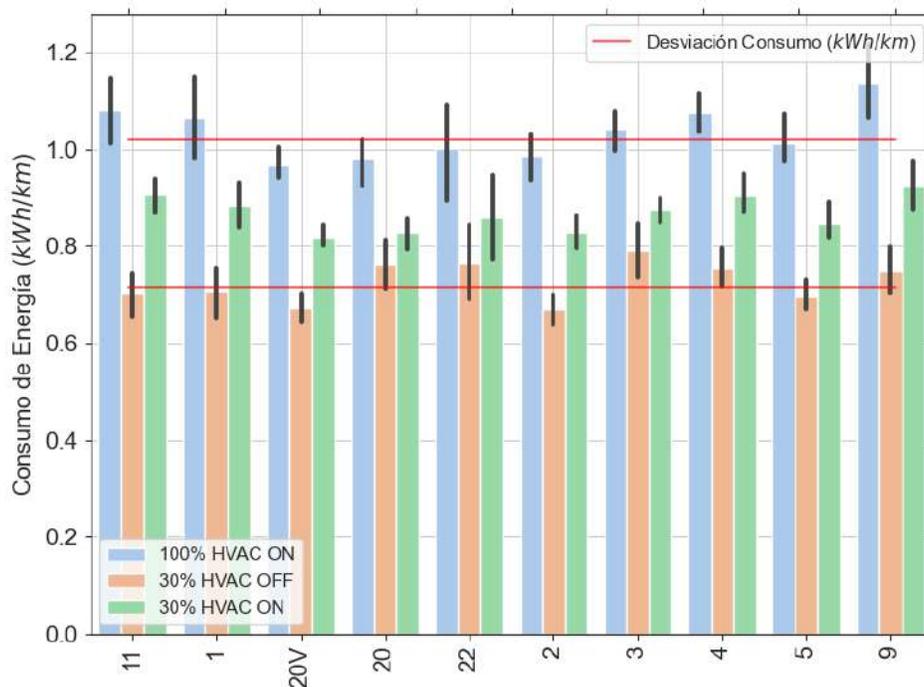


Figura 24. Consumo de Energía agrupados por condición de modelación para cada ruta.

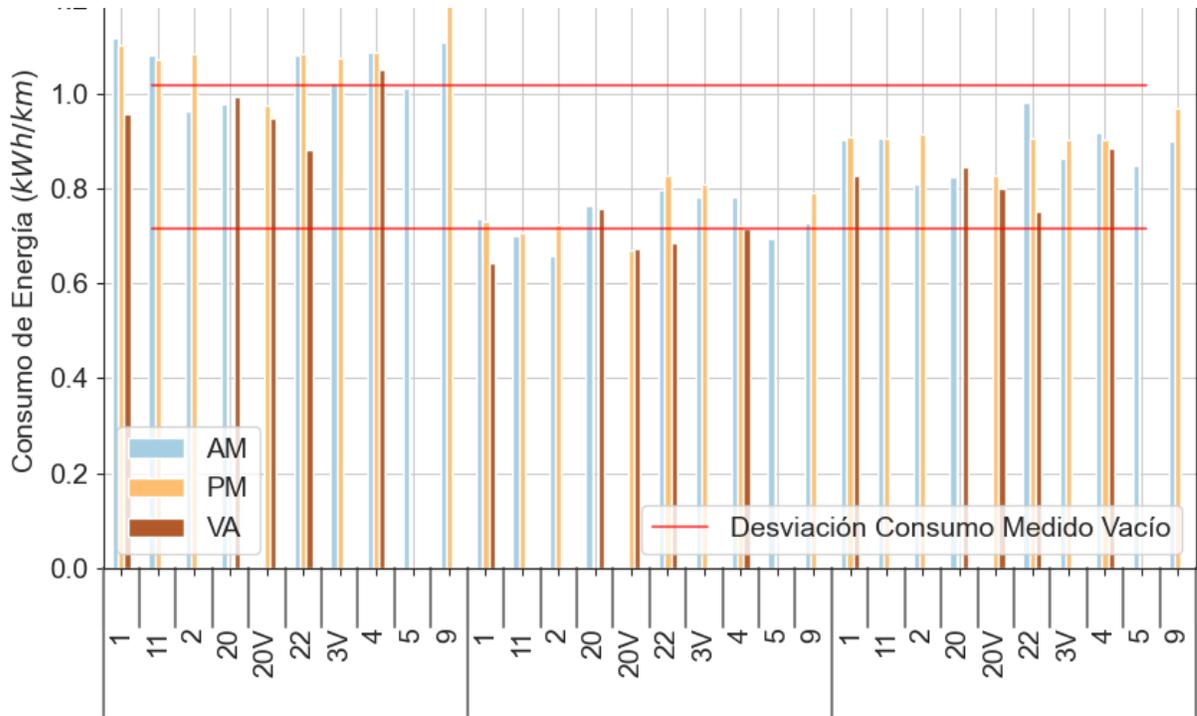


Figura 25. Consumos de Energía para cada ruta, agrupados por condición de modelación y rango horario.

La explicación a las observaciones mencionadas anteriormente, radican principalmente en tres factores. El primero corresponde a las bajas magnitudes de velocidad y aceleración, que implican menores esfuerzos para frenar y por lo tanto bajas regeneraciones a partir del frenado. Relegando el gasto energético asociado a la inercia a sólo el esfuerzo para colocar al bus en movimiento (el consumo mínimo).

El segundo factor corresponde a las bajas pendientes presente en los recorridos, disminuyendo aún más la importancia del peso como un factor determinante en el consumo, si se consideran las bajas velocidades.

El tercer factor que explica la diferencia entre escenarios puede deberse al diseño del bus que considera una carrocería más pequeña. El diseño del bus podría explicar que la carga tuvo un impacto mayor en comparación con el HVAC.

Cálculos de KPIs

Para este análisis se consideró una frecuencia de salida de 10 min, con un inicio a las 06:00:00 horas y término a las 22:00:00 horas. La tabla a continuación muestra el largo total de la ruta, la distancia total de operación durante una jornada y sus tiempos promedios de demora. La siguiente tabla muestra las consideraciones para esta parte.

Tabla 26. Consideraciones para el cálculo de KPI's.

Bus	Batería [kWh]	80% B. [kWh]	Potencia del cargador [kW]	Factor Conducción	Frecuencia Salida [min]
Bus A	129	103.2	70	1.1	10

Tabla 27. Valores de KPI's para cada una de las rutas.

Ruta	Largo ruta (km)	Velocidad promedio (km/h)	tiempo promedio (h)	frecuencia salida (h)	Jornada (h)	Distancia total jornada (km)	Autonomía (km)	N° de Vueltas
11	17.4	11.25	1.55	0.17	16.00	1670.40	108.6	7
1	29.4	9.69	3.26	0.17	16.00	3033.60	109.9	4
20	80.2	11.16	7.26	0.17	16.00	7776.00	115.6	1
22	21.1	12.57	1.70	0.17	16.00	2054.40	114.4	6
2	35.5	11.95	2.97	0.17	16.00	3408.00	116.9	4
3	35.8	8.81	4.06	0.17	16.00	3436.80	109.3	3
4	36.3	11.54	3.15	0.17	16.00	3484.80	107.2	4
5	29.1	9.38	2.98	0.17	16.00	2688.00	113.0	5
9	34.7	12.02	2.91	0.17	16.00	3360.00	103.8	3

Considerando todos los análisis anteriores, se ordenó la lista de rutas a partir del consumo (orden ascendente), número de vueltas (orden descendente), distancia de operación (orden descendente) y número de pasajeros (orden descendente). La posición de la ruta en cada parámetro es un punto asociado al índice en el que quedó. Los criterios utilizados se pueden resumir como sigue:

- Un menor consumo energético en la operación de la ruta permite mayores ahorros tanto económicos como en términos medioambientales, por lo tanto, menores consumo, significan una mejor ruta, su orden es por lo tanto ascendente.

- Mientras mayor sea el número de vueltas que permita la carga de la batería, implica que tiene una mayor autonomía y respecto a la distancia de la ruta, le permite maximizar su operación. Su orden es descendente.
- La distancia de la jornada puede variar dependiendo de la frecuencia de salida que es calculable de forma particular para cada ruta. En este ejercicio se utilizó una de 10 minutos para todas. En este caso, mientras mayor sea la distancia de operación, mayor es la posibilidad de aumentar el retorno en la inversión de buses eléctricos. Su orden es descendente.
- Finalmente, el número de pasajeros estima el uso del bus por los pasajeros. Mientras más pasajeros usen el bus, mayor ingreso tendrá la ruta por efectos de tarifa, significando un retorno más rápido de la inversión. Su orden es descendente.

Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$score = \left(\frac{\alpha}{ix_W + ix_S + ix_D + ix_P} \right) \quad (5)$$

Donde el *score* corresponde a la puntuación, α es un factor de escala para ajustar los valores de 0 a 100, ix_W , ix_S , ix_D y ix_P corresponden a los índices del *Consumo Energético*, *Número de Vueltas*, *Distancia de Operación* en una jornada y *Número de Pasajeros* que transportó durante las mediciones respectivamente. El índice corresponde a la posición según el ordenamiento respecto a esta variable. De esta forma, aquella ruta que obtenga el primer puesto en todas las categorías correspondería al valor 100.

El resultado puede verse en la siguiente tabla:

Tabla 28. Puntuaciones para la selección de las rutas con mayor potencial de electrificación.

Índice	Ruta	ix_W	ix_S	ix_D	ix_P	score
1	20V	1	2	2	9	20.9
2	22	4	3	1	8	17.3
3	11	8	1	5	3	15.8
4	1	7	5	4	2	14.5
5	2	2	6	6	4	14.5
6	20	3	10	7	1	11.4
7	3	6	7	3	5	11.4
8	5	5	4	9	10	6.6
9	4	9	9	8	7	4.4
10	9	10	8	10	6	4.1

El análisis en esta sección deja de lado aspectos económicos y se centra especialmente en la factibilidad técnica y operacional. Según esto se pudo establecer un orden de prioridad y facilidad en términos operativo – técnico para la implementación en primera instancia un

pilotaje, que permita evaluar la tecnología de buses eléctricos en determinada ruta, y es un primer acercamiento a la posibilidad de poder implementar esta tecnología con el fin de mejorar la calidad de los vehículos, la operación y reducir la huella de carbono del servicio público.

La priorización deja ver que las 3 rutas corresponden a los recorridos 20V, 22 y 11. Mientras que las 3 últimas resultaron ser 5, 4 y 9. La siguiente sección se tomará en cuenta algunos costos para un análisis de TCO preliminar.

Análisis General Estado de Terminales en rutas estudiadas

Un primer acercamiento a los terminales de buses que actualmente operan con las líneas mencionadas en el informe 5 y 4, sugiere nuevos desafíos con relación a las obras civiles en donde, además de establecer los costos que deberán agregarse a los costos propios de la infraestructura de carga, asociados con la compra de cargadores., se debe resolver quienes o quien financiará, que operadores estarán dispuestos a realizar innovaciones e inversiones en la mejora de infraestructura e introducción de buses eléctricos y finalmente la definición de los plazos para las licitaciones.

En general pudo observarse los siguientes puntos:

- No existe mayores equipamientos, ni infraestructura especial para el sistema eléctrico.
- En general su acondicionamiento está pensado para ser estacionamientos. No poseen techumbre ni sistemas de canalización eléctrico.
- Falta de señalización

En otras regiones existen procesos de licitación con miras a mejorar el sistema de transporte público, adecuándolo al estándar “Red”, con el fin de cumplir la meta de lograr el 100% del transporte público eléctrico para el 2040. El escenario presentado en Valdivia, en general se repite en otras zonas del país, en donde los operadores juegan un papel clave, así como también la falta de infraestructura que permita un traspaso a buses eléctricos.

Un ejemplo de lo anterior es Rancagua, que tuvo que suspender la licitación que buscaba instalar la electromovilidad en la zona. Las bases, cuya publicación fue el 6 de enero del 2022, debido a errores que se encontraban en ellas, sumado a que no se estableció una mesa de trabajo con los operadores, cuyas principales preocupaciones se refieren al costo, como al modo de implementación²⁸.

Por otra parte, en Talca, región del Maule, comenzará a operar un electrocorredor, correspondiente a un nuevo servicio que se realizará entre las calles Caserío Lircay y la Ruta k.611, con una distancia de 12 km en cada tramo. Lo anterior se suma a los esfuerzos dentro del plan de

²⁸ <https://www.elrancaguino.cl/2022/02/16/suspenden-licitacion-para-buses-electricos-de-rancagua/>

electrificación comprometidos por la Secretaría de Estado. El subsecretario de transporte aseguró en una entrevista el 10 de marzo del 2022, lo siguiente²⁹:

“Tenemos 11 procesos concursables a lo largo de todo el país. Están en diversas etapas y con mucho orgullo puedo decir que la Contraloría General de la República ha tomado razón del primer corredor eléctrico adjudicado en Valparaíso. Serán 35 buses eléctricos que se incorporarán para el servicio Placilla y Plaza Wheelwright”

Según este, los procesos de desarrollo de electrocorredores corresponden a las ciudades de Arica, Antofagasta, Copiapó, Coquimbo-La Serena, Valparaíso (2), Rancagua, Talca, Concepción, Temuco, Puerto Montt y Coyhaique.

En Valdivia durante el 2020 y 2021, se implementaron a través de un financiamiento con los Fondos Espejo para regiones, la introducción de 17 vehículos Euro V de 9 m. Distribuyéndose en las zonas de Servicio de Valdivia.

Durante el 2021, se lanza la resolución para la convocatoria que llama a la presentación de postulaciones para renueva tu micro³⁰. En él se ofrecen hasta un monto de \$100 millones de pesos como subsidio para tecnologías de buses que sean cero emisiones. Sin embargo, hasta el momento no se han presentado ofertas de buses eléctricos que podrían optar a dicho subsidio³¹.

El principal problema que puede preverse en esta licitación es con respecto a que la entrada de buses eléctricos no puede ser igual a la entrada de un vehículo diésel, pues se debe contar con la infraestructura necesaria para operar con buses eléctricos. En este sentido, es poco probable que oferentes postulen con buses eléctricos, sino se tiene claro las condiciones económicas para el mejoramiento de infraestructura. Esto refleja también la necesidad de conectar con distintos actores con el fin de disminuir riesgos financieros.

En este sentido una oportunidad para poder introducir los buses eléctricos, a través de este subsidio, es la mejora de la infraestructura de los terminales. En ese sentido, para esto la normativa publicada por SEC, establece los puntos de forma clara para una implementación segura y de calidad para buses eléctricos.

Análisis de Demanda de Energía

Para el análisis de demanda energética se consideró 3 escenarios detallados a continuación:

²⁹ <https://www.gob.cl/noticias/ministra-hutt-y-subsecretario-dominguez-anuncian-nuevos-buses-electricos-para-el-corredor-en-avenida-santa-rosa/>

³⁰ <https://www.dtp.cl/pdf/rm/proceso2021/RES. EX. 558 - RENEVA TU MICRO.pdf>

³¹ <http://www.conaset.gov.cl/archivos/29772>. Hasta la fecha, son 17 los buses con estándar RED que están comprometidos para el perímetro de exclusión de Valdivia, aún no se introducen la totalidad.

- **Escenario 1:** Frecuencia de operación con salidas de buses 10 minutos. Autonomía y número de buses determinada por la capacidad de batería del bus y el consumo de energía de la ruta obtenido de las modelaciones, detallado en el informe de avance 4.
- **Escenario 2:** Frecuencia de Operación con salidas de buses cada 15 minutos. Autonomía y número de buses determinada por la capacidad de la batería del bus y el consumo de energía de la ruta obtenido de las modelaciones, detallado en el informe de avance 4.
- **Escenario 3:** Número de Buses entregados por la base de datos de la Seremi del MTT, y frecuencias de operación dadas por registro de datos del 2017 junto con los planes de operación del 2021³².

La cantidad de buses eléctricos es estimada a partir de una frecuencia, la autonomía del bus eléctrico obtenida para cada ruta y la distancia de la ruta, considerando que el bus debe consumir como máximo un 80% de la capacidad de la batería. Esta restricción es necesaria para conservar al máximo posible la vida útil de la batería, ya que es recomendado no consumir más del 80% de la capacidad de la batería entre cada ciclo de carga. La cantidad de distancia recorrida por un bus (d_{oper}) estará determinada por el largo de la ruta y el total de salidas exigidas, es decir,

$$d_{oper} = \left(\frac{J_{oper}}{f_{out}} \right) \times D_{ruta} = T_{out} \times D_{ruta} \quad (5)$$

donde J_{oper} es la jornada de operación (16 h), f_{out} corresponde a la frecuencia de salida y D_{ruta} es el largo de la ruta. La relación de los dos primeros términos da como resultado T_{out} , que es el total de salidas por bus de una ruta en una jornada.

La cantidad de buses necesaria para la operación se calculó mediante la Ec.(6).

$$N_{flota} = d_{oper}/A_{bus} \quad (6)$$

donde N_{flota} es la flota mínima necesaria para una ruta, d_{oper} corresponde a la distancia total recorrida por la flota en una jornada de operación y A_{bus} es la Autonomía del bus. Este último se calcula a partir de la Ec.(7).

$$A_{bus} = (0.8 \times CB_{bus}) / (C_{bus} \times F_{cond}) \quad (7)$$

donde CB_{bus} y C_{bus} corresponden a la Capacidad de la batería y el Consumo de Energía por unidad de distancia del bus, F_{cond} corresponde a una corrección al rendimiento del bus que toma en cuenta inexperiencia del conductor con frenado regenerativo, generalmente se toma un valor

32

http://www.dtp.r.gob.cl/pdf/perimetros/Valdivia/Resoluciones_Generales/Res_12_Aprueba_Condiciones_de_Operación.pdf

de 1.1. El factor 0.8 proviene de considerar sólo el 80% de la capacidad de la batería, como se mencionó anteriormente.

Por otro lado, la potencia total requerida (P_T) para la flota completa, considerando la operación de las 3 rutas, está determinada por la Ec. (8).

$$P_T = N_{carg.} \times P_{carg} \quad (8)$$

donde, $N_{carg.}$ corresponde al Número de Cargadores necesarios y P_{carg} es la potencia máxima del cargador. Se asume que por cargador se podrán cargar de forma paralela 2 buses eléctricos. Esta es una suposición reservada, ya que actualmente en terminales Red de la Región Metropolitana, cada cargador pueden operar con hasta 4 buses. Por lo tanto,

$$N_{carg.} = N_{flota}/2$$

Las características del bus y otros parámetros utilizados en este análisis se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 29. Características del Bus y consideraciones de otros parámetros.

	Batería (kWh)	80% (kWh)	B. Potencia cargador (kW)	Factor Conducción	Cargas Nocturnas	Inicio	Fin	Total [h]
Bus A	129	103.2	70	1.1	1	6:00:00	22:00:00	16

Para el escenario 3 se consideraron los siguientes datos, obtenidos de los planes de operación y datos entregados por Seremi del MTT. En la tabla a continuación se detallan el número de buses registrado (Flota Reg.), y la flota mínima exigido por el Plan operacional (PSO). Para el escenario se consideró el mínimo exigido por el plan.

Tabla 30. Consideraciones para el escenario 3.

Ruta	Flota Mínima (N°)	Flota Reg. (N°)	N° Viajes/día	Frecuencia (min/bus)	Salida
11	23	43	239	4.0	
1	23	30	167	5.7	
20	52	32	148	6.5	
22	10	13	67	14.3	
2	23	30	158	6.1	
3	37	30	177	5.4	
4	25	79	135	7.1	
5	13	9	86	11.2	
9	31	38	187	5.1	

Las tablas a continuación detallan los resultados para este análisis. En ellas las variables de interés son la Energía de la Flota, el número de cargadores y la Potencia Requerida para operar con dicha flota.

Tabla 31. Escenario 1, demanda energética y potencia requerida para flota con frecuencia promedio de 10 min, donde DE es la Desviación Estadística. (Fuente: Elaboración Propia)

Ruta	Largo ruta (km)	Velocidad promedio (km/h)	Distancia Total Jornada (km)	Consumo + DE (kWh/km)	Flota máxima (N°)	Energía Flota (kWh)	Cargadores (N°)	Potencia Requerida (kW)
11	17.4	11.3	1670.40	1.10	20	1914.00	10	700
1	31.6	9.7	3033.60	1.10	36	3754.08	18	1260
20	81	11.2	7776.00	1.10	92	16394.40	46	3220
22	21.4	12.6	2054.40	0.95	21	2134.65	11	735
2	35.5	11.9	3408.00	0.90	33	3163.05	17	1155
3	35.8	8.8	3436.80	1.05	39	4398.03	20	1365
4	36.3	11.5	3484.80	1.00	38	4138.20	19	1330
5	28	9.4	2688.00	0.90	26	2620.80	13	910
9	35	12.0	3360.00	1.10	40	4620.00	20	1400

Tabla 32: Escenario 2, demanda energética y potencia requerida para flota con frecuencia promedio de 15 min. donde DE es la Desviación Estadística (Fuente: Elaboración Propia)

Ruta	Largo ruta (km)	Velocidad promedio (km/h)	Distancia Total Jornada (km)	Consumo + DE (kWh/km)	Flota máxima (N°)	Energía Flota (kWh)	Cargadores (N°)	Potencia Requerida (kW)
11	17.4	11.3	1113.60	1.10	14	1339.80	7	490
1	31.6	9.7	2022.40	1.10	24	2502.72	12	840
20	81	11.2	5184.00	1.10	61	10870.20	31	2135
22	21.4	12.6	1369.60	0.95	14	1423.10	7	490
2	35.5	11.9	2272.00	0.90	22	2108.70	11	770
3	35.8	8.8	2291.20	1.05	26	2932.02	13	910
4	36.3	11.5	2323.20	1.00	25	2722.50	13	875
5	28	9.4	1792.00	0.90	18	1814.40	9	630
9	35	12.0	2240.00	1.10	27	3118.50	14	945

Análisis Económico mediante Análisis de Costos Totales (TCO)

Para el análisis económico se tomaron los resultados del apartado anterior, teniendo en cuenta la distancia de referencia de cada ruta, que considera ambos sentidos, la velocidad media con la que operaron los buses y el consumo obtenido en la modelación. Se tomó a partir de la base de datos del Seremi del MTT la flota total de las rutas hasta marzo del 2020. El análisis se realizó por líneas, por lo tanto, la línea 20 que tiene a su vez los recorridos 20 y 20V se sumaron en una sola operación. Es importante resaltar que es necesario revisar el número de vehículos para cada ruta, ajustándola a la demanda real del servicio, con el fin de evitar un sobredimensionando de la flota, lo que aumenta en cotos de inversión relacionados con la adquisición de buses. La tabla a continuación resume los parámetros considerados.

Tabla 33. Parámetros considerados para el análisis económico. (Fuente: Elaboración propia)

Línea	Rutas	Distancia (km)	Distancia Jornada Año	Buses x	Consumo (kWh/km)	Autonomía Promedio (km)
11	11	17.4	597741.2	30	0.9	108.6
1	1	29.4	1009976.5	30	0.9	109.9
20	20, 20V	80.2	2755105.9	74	0.8	115.6
22	22	21.1	724847.1	9	0.8	114.4
2	2	35.5	1219529.4	38	0.8	116.9
3	3	35.8	1229835.3	43	0.9	109.3
4	4	36.3	1247011.8	32	0.9	107.2
5	5	29.1	999670.6	13	0.9	113.0
9	9	34.7	1192047.1	54	0.9	103.8

La siguiente tabla resume los costos considerados tanto para un bus diésel como para un bus eléctrico. Los valores son referenciales y para un mayor análisis es necesario un mayor conocimiento de la operación de la flota .

Tabla 34. Valores de costos y consideraciones para el análisis económico. (Fuente: Elaboración propia)

Concepto	Comentario	Bus Diésel 1	Bus Eléctrico 1	Fuente
CAPEX				
Costo del bus (USD)		\$120,000	\$216,000	Proveedor
Capacidad batería (kW)		-	245	Proveedor
Costo del cargador DC (USD)*		-	\$24,000	Cotizaciones privadas / Contratos de provisión de flota
Costo adecuación de la infraestructura por cargador (USD)**		-	\$2,865	Estimaciones propias en colaboración con Dhemax
Buses por cargador		-	3.75	Supuesto
Numero de buses por ruta		1	1	
CAPEX		120,000	243,114	SubTotal x Bus
OPEX				
Eficiencia del bus (diésel l/km - eléctrico kWh/km)		0.80	1.70	3CV. MTT. Resultados de Medición Según Resolución Exenta N° 2.243 Protocolo Técnico para Obtener Consumo Energético en Buses de Transporte Público Urbano de la Ciudad de Santiago
Costo del combustible (diésel USD/l - electricidad USD/kWh)		\$0.82	\$0.046	
Costo de aditivo (diesel exhaust fluid, DEF) (USD por litro)		\$0.63	-	Cost-Benefit Analysis of Mexico's Heavy-duty Emission Standards (NOM 044)" ICCT 2014
Consumo de DEF AdBlue (% por l de diésel)		5%	-	
Costos de mantenimiento preventivo (USD/km)		\$0.12	\$0.08	
Costos de mantenimiento correctivo (USD/km)		\$0.19	\$0.14	

Revisión de vida media motor (Overhaul) (USD)		\$18,000	\$4,320	Supuesto CMM/DTPM: bases licitación exige asumir costo de vida media (en el caso de buses eléctricos se asume un valor correspondiente a recambio de neumáticos, lubricantes y congelantes y se separa de un posible recambio de la batería).
	Porcentaje considerado overhaul vs precio del bus	15%	2%	
Recambio de baterías (USD)		0%	\$15,925	Se asume un costo al 2030 de USD\$65/kWh. Proyecciones UITP
Seguros (USD/año/bus)		\$4,771	\$8,162	Supuesto DTPM: [Costo al primer año] = 1.15% del valor comercial del bus depreciado un 10% cada año (revisar hoja de amortización de seguros valor bus). 40 UF seguro responsabilidad civil por bus al año por año
Consideraciones				
Tasa de descuento (%)		6%	5%	Contratos de provisión de flota
Valor residual del bus (%)		10%	10%	Depreciación lineal (10 o 14 años de vida útil)
Plazo del contrato (años)		10	14	Contratos de provisión de flota
Tasa de interés (%)	Licitación	5%	7%	Contratos de provisión de flota
	Contratos a 10 años	5%	5%	
	Contratos a 14 años	7%	7%	

El análisis considera el reemplazo de 1 bus de diésel por 1 bus eléctrico. La infraestructura tiene como supuesto 1 cargador por bus. Estas son consideraciones son reservadas porque en la introducción de BEBs, en general se pueden realizar estrategias para que consideren plazos y cofinanciamientos que reduzcan los costos y riesgos, así como también la implementación de cargadores donde por ejemplo se cargan 2 o 3 buses por cargador, reduciendo la cantidad de cargadores. De la misma forma, dependiendo de los participantes interesados en el financiamiento, es posible lograr tarifas especiales en la electricidad, que reducirían aún más los costos de operación.

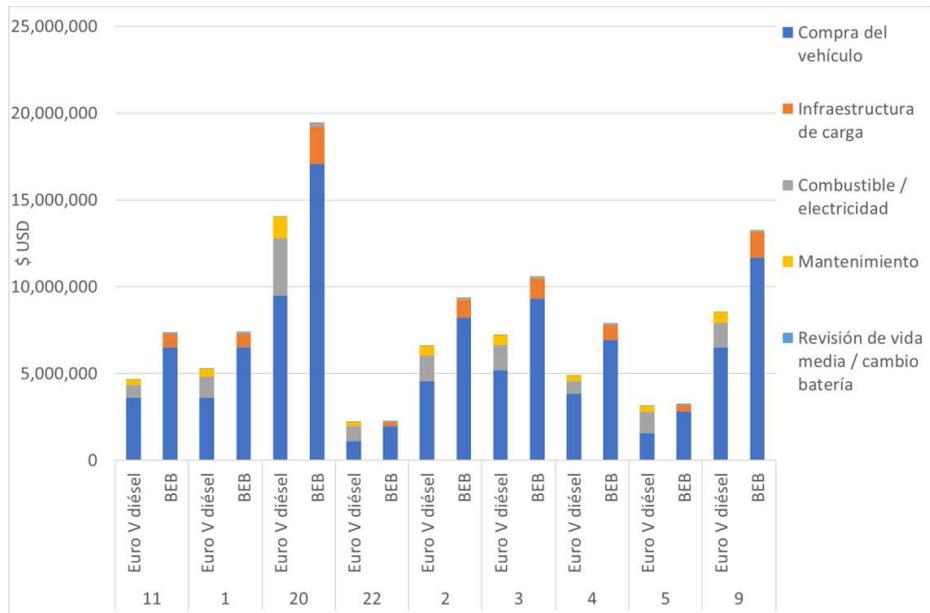


Figura 26. Valores de TCO para las distintas líneas. (Fuente: Elaboración propia)

La Figura 26 resume los valores de TCO para las distintas líneas. Considerando los resultados anteriores, es posible ver que la línea 22, que ocupa el segundo lugar en términos técnicos, es una línea atractiva para electrificar, pues es también la que menos riesgo económico posee, seguida por la línea 1. Por su parte la línea 5 puede ser atractiva económicamente, no lo es operacionalmente en primera instancia, al igual que la línea 20V, que es atractiva operacionalmente, pero es la que posee mayores riesgos económicos. Sin embargo, considerando que poseen un terminal en común, las convierte en candidatas para profundizar en el desarrollo de buses eléctricos, debido a que pueden establecerse estrategias en conjunto.

Un aspecto vital que debe resolverse es lo relacionado con el interés de los operadores para operar con nuevas tecnologías. En general, dependiendo del interés, se deberá escoger entre rutas que posean más riesgo económico.

Recomendaciones para un primer piloto de bus eléctrico y consideraciones en el diseño de electroterminales

Como se ha mencionado previamente, existe una larga historia de pilotos con buses eléctricos en Chile desde los primeros buses que llegaron a Santiago en el 2013. Sin embargo, en muchas

instancias, estas oportunidades no han generado información de uso público que pueda servir para reducir los riesgos tecnológicos y operacionales entre todos los actores involucrados en el entorno de desarrollo de la electromovilidad. Es por eso, que las actuales recomendaciones buscan delinear claramente los indicadores de desempeño más relevantes a evaluar para generar información que permita reducir las barreras al despliegue de buses eléctricos y junto con esto, que consideraciones se deben tener en cuenta para la construcción de electroterminales.

Recomendaciones para la realización de un piloto real con bus eléctrico.

Hay distintas formas de evaluar el desempeño de un bus eléctrico en un determinado recorrido. En muchos casos, se puede realizar un piloto físico con un bus operando en el circuito; sin embargo, muchas veces, es inviable y difícil de realizar para distintas condiciones de operación y en todos los recorridos de un operador o de una ciudad. Una alternativa, es realizar evaluaciones de desempeño de manera virtual.

En informes anteriores se realizó una evaluación virtual que permitió definir parámetros importantes tales como: (i) autonomía mínima necesaria acorde a las exigencias de operación, (ii) número de buses exigida por la operación, (iii) posibles estrategias de carga y (iv) estimaciones de costos y necesidades energéticas requeridas por la flota. Esto también permitió identificar las rutas más atractivas en términos operacionales para ser electrificadas, creando una lista de priorización. Cualquier piloto desarrollado en la ciudad debería servir para validar esta primera información simulada. El pilotaje de la tecnología permite adecuar las modelaciones anteriores, además de tomar en cuenta otras consideraciones de la operación del bus eléctrico como su comportamiento en la infraestructura vial de cada ciudad. En el pilotaje se determinan los indicadores de interés a monitorear para que sirvan de retroalimentación para el proceso de adquisición y escalamiento de buses eléctricos. Por lo tanto, el piloto tiene como objetivo los siguientes puntos:

- Obtener información real y de mejor calidad de la operación, midiendo directamente parámetros que en la simulación sólo pueden ser estimados.
- Ajustar parámetros claves asociados con la operación, tales como frecuencia de salida, tiempos de carga y número de buses por cargador.
- Prueba de distintos escenarios de operación y distintas estrategias de carga. Revisión y seguimiento de fallas durante la operación del bus y del cargador.
- Validación u optimización del modelo de negocios empleado, proyecciones a partir de los consumos reales y costos asociados.
- Validación de la gobernanza u organización de los actores que participan en la operación.
- Impacto en los incumbentes del sistema de transporte público de Valdivia.

Tanto para el piloto como para el proceso de adquisición de flota, se tendrá que trabajar con los proveedores de tecnología y fabricantes en el mercado local. De la misma forma, para realizar una correcta definición de las estrategias de carga a utilizar en los buses eléctricos adquiridos, los factores como la potencia, pliegos tarifarios y sistema de alimentación eléctrica disponibles en el terminal serán cruciales en la decisión de electrificación y tienen que ser abordados en conjunto con los proveedores de energía locales.

En la medida de lo posible, el piloto debería hacerse con más de una unidad, probando distintas estrategias de carga (en depósito, rápida, etc.) que permitirá validar la disponibilidad real de la flota (incluyendo los tiempos de carga) al igual que la autonomía real en ruta bajo condiciones de operación cotidianas (incluyendo los impactos geográficos, climáticos, cargas de pasajeros y de uso de sistemas HVAC entre otros).

Este proceso representa la primera introducción a una nueva tecnología para los choferes y el personal de mantenimiento de buses. Involucrarles desde el comienzo y tener una retroalimentación fluida forman parte fundamental del proceso de evaluación tecnológica y capacitación del personal. Igualmente, el piloto permite recoger comentarios sobre la tecnología por parte de los usuarios finales como los principales beneficiarios de esta renovación tecnológica.

Otro de los aspectos importantes a definir para optimizar la operación de buses eléctricos son los estándares de carga y protocolos de comunicación que deben cumplir los vehículos y sistemas de carga. Los estándares de carga van más allá del tipo de conector que deben usar los vehículos e incluyen distintos aspectos que facilitan el intercambio de información entre el vehículo, programas de gestión de flota, y la gestión de carga. Para gestionar los sistemas de carga de buses eléctricos hay varios protocolos que facilitan este intercambio de información que apoya la optimización de la carga de los buses eléctricos y puede resultar en ahorros significativos en inversión, asociados a la infraestructura y a la operación diaria de los buses.

Sin embargo, en muchos casos las normativas que regulan este proceso de carga inteligente van más lentas que la tecnología. Se recomienda escoger el estándar de carga de mayor disponibilidad en el correspondiente mercado. De igual forma, el cumplimiento de los protocolos de comunicación abiertos (como el OCPP 1.6) que permiten el monitoreo de flota y cargadores por proveedores tecnológicos independientes. Es recomendable evitar comprometerse con un sólo proveedor tecnológico con protocolos cerrados de comunicación, ya que puede tener importantes repercusiones en las estrategias de mantenimiento, operación y carga que se empleen, limitando la interoperabilidad del sistema de transporte público. Las recomendaciones anteriormente nombradas, son parte de las estrategias que ayudan en la reducción de los costos operacionales.

Diseño del Protocolo de Pruebas y Mediciones que deben realizarse

Es importante crear una base de datos de los indicadores claves de desempeño o KPIs (por su sigla en inglés) para la supervisión del piloto. En general la información debe permitir:

1. Comparar el consumo real con el de otros perfiles o rutas del que no se tiene datos reales de consumo de energía.
2. Estimar si en condiciones más exigente el bus será capaz de responder.
3. Estimar el desgaste que tendrá la batería dada cierta exigencia y periodicidad de carga y descarga.

A continuación, se revisan algunos puntos que deben considerarse en el diseño del protocolo.

Seguimiento de prueba piloto

Cómo ya se mencionó el piloto debe ser capaz de recopilar información que permita resolver barreras actuales y ajustar los valores obtenidos de la simulación. Para la medición de parámetros se recomienda utilizar una unidad lógica que se conecta al bus y que extraiga la mayor cantidad de parámetros posibles. Algunos ejemplos de estas unidades son *Viriciti* o *Tecium*. Además, si no se posee un sistema de recolección, es necesario crear un sistema o servidor para recolectar los datos, por ejemplo: *DataHub*.

Se deben establecer pautas para la recolección de data. Es decir, detallar el procedimiento de las mediciones; días y jornada que operará el piloto, variables que se deben monitorear, definir el término del proceso de mediciones y finalmente cómo se guardarán los datos.

Los componentes que se deben revisar antes y después de una prueba son:

- Arnés eléctrico / sistema de cableado. Roces, terminales, puntos de roce y vibraciones.
- Compartimiento de la batería: Conexiones de terminales, fugas de material, aislación, daños estructurales.
- Electrónica de potencia: Lectura de voltaje – corriente, zumbidos anormales en el arranque o durante la operación, lecturas de estado de salud batería.

Variables necesarias para estimar las prestaciones de los buses

A continuación, se detallan las variables deseables a medir durante el pilotaje, relacionadas a los KPIs definidos en la subsección siguiente. Idealmente se deben incluir todas las variables, sin embargo, la accesibilidad a la data dependerá tanto del fabricante del bus cómo de la unidad lógica que se esté empleando para recopilar información. Esto se debe tener presente para abarcar el máximo de parámetros que los sistemas de medición y acceso a la data permitan.

1. Mediciones Generales

- Velocidad instantánea en [km/h], obtenida directamente del CAN bus (frecuencia de muestreo 2 [Hz]).
- Estado de carga de las baterías (SOC) [%] (frecuencia de muestreo 1 [Hz]).
- Autonomía restante instantánea [km].
- Geoposicionamiento (GPS): latitud, longitud, altitud (frecuencia de muestreo 0.5 [Hz]).
- Estado del Aire acondicionado (Encendido o Apagado).

2. Mediciones Primarias

- Voltaje [V] y corriente [A] de cada pack de baterías (frecuencia de muestreo 2 [Hz]).
- Voltaje [V] y corriente [A] de los moto-generadores (frecuencia de muestreo 2 [Hz]).
- Voltaje [V] y corriente [A] de los accesorios eléctricos: compresor AA, servodirección, compresor de aire (frecuencia de muestreo 2 [Hz]).
- Temperatura [°C] de cada pack de baterías (frecuencia de muestreo 0.5 [Hz]).
- Estado de carga del pack de baterías (SOC) [%] (frecuencia de muestreo 0.5 [Hz]).

3. Mediciones Secundarias

- Temperatura [°C] del pack de batería celda (frecuencia de muestreo 0.5 [Hz]).
- Voltaje [V] y corriente [A] por celda del pack de batería (frecuencia de muestreo 2 [Hz]).

Indicadores claves de desempeño (KPIs)

Los KPIs son una medida estandarizada cuantificable de evaluar el éxito de una tecnología, política, u otra intervención. Su importancia radica en que permiten:

1. Rastrear la implementación del bus a través del programa piloto
2. Validar las especificaciones de rendimiento
3. Comparar la tecnología de bus eléctrico versus diésel
4. Seguir políticas y operaciones de mantenimiento
5. Implementar un ciclo de retroalimentación con KPI para mejorar el rendimiento.

En general para buses eléctricos, los KPIs importantes son los siguientes:

- Consumo de energía por tipo de bus y ruta [kWh/km]
- Autonomía por tipo de bus y ruta [km]
- Degradación de la batería en el período del piloto [% respecto de la retención de carga original]
- Caracterización de las estrategias de recarga:
 - Número de cargas por día [#]
 - Magnitud de carga promedio [kWh]
 - Disponibilidad de los buses [% de horas del período estudiado]

- Disponibilidad de los cargadores [% de horas del período estudiado]
- Costo promedio del kWh por estrategia de carga
- Kilómetros medios entre defectos (MKBD)
- Tiempo estimado o promedio para reparar (MTTR)
- Costo por Kilómetro/milla [\$/km] o [\$/milla].

Consideraciones en la planificación del piloto

Para poder realizar el piloto se tendrán que seguir los protocolos establecidos por el MTT para incorporar un bus de prueba al sistema de transporte público de la ciudad. En este proceso, será necesario definir la estructura del piloto, es decir, la ruta por donde transitará el vehículo, el plan de operación que tendrá que seguir; día y horario de operación, incluyendo los tiempos estimados de demoras, paradas que deberá realizar el vehículo, revisión previa al viaje, revisión posterior al viaje, componentes que deben revisarse, entre otros aspectos. Además de la definición del trazado por donde debe operar el bus, es importante también definir una serie de escenarios, y condiciones de pilotaje, por ejemplo:

- Aire acondicionado (AC) o calefacción (HAVC) encendido.
- Velocidades crucero y máximas.
- Peso que debe transportar, o simulación del peso (generalmente se utilizan bidones de agua para simular el peso de los pasajeros).
- Tiempos de carga y frecuencias de salida.

Otros aspectos que se deben considerar es la definición de protocolos para actuar en caso de posibles contingencias tales como la falla del bus durante la operación. Fallas de comunicación en la transmisión de datos y fallas en la batería. Que puedan significar un riesgo para los tripulantes y para el entorno, así como también para que el piloto cumpla con el objetivo de ser útil para la toma de decisiones y verificación de estudios anteriores.

En este sentido, se debe formalizar preliminarmente las capacitaciones del personal clave involucrado en el piloto, antes y durante la llegada de los primeros buses eléctricos. Esto incluye capacitaciones para choferes (que ya están operando en las líneas), incluir personal que serán operadores de los sistemas de carga y servicios de mantenimiento al igual que el resto de personal que busca incrementar su conocimiento sobre esta nueva tecnología.

Recomendaciones para el diseño y construcción de los Electroterminales

Teniendo en consideración el terreno y las referencias entregadas de los terminales actuales para la operación de transporte público en la capital regional, se detectan algunas observaciones y recomendaciones básicas necesarias para garantizar el desarrollo de una operación con buses eléctricos. En particular, las estructuras deben al menos tener las siguientes consideraciones en su construcción:

- El cargador debe ser instalado en una base de concreto cuya dimensión de la base debe ser mayor a la del cargador.
- La ubicación de la base no puede estar emplazada en niveles inferiores del terreno para evitar inundaciones.
- La medida aconsejada para la altura de la base de hormigón es de 15 cm sobre el nivel de tierra.
- No deben existir obstrucciones a 1 metro alrededor del cargador, así se garantiza el buen funcionamiento del sistema de enfriamiento.
- Se debe considerar un drenaje en la cámara de conexión como medida preventiva en caso de inundación, su función es la de evacuar el agua hacia la cámara del sistema de agua del lugar.
- La infraestructura debe contar con cubre lluvia

Por otro lado, los terminales deben contar con las siguientes instalaciones secundarias para una operación segura:

- Sala eléctrica, donde se ubicarán exclusivamente los tableros eléctricos.
- Sala de monitoreo, donde se registrará el control de equipos en el proceso de carga.
- Cubierta en los techos de los cargadores con características para la protección de lluvia y de sol directo.
- Se debe contar con los planos de los transformadores y los grupos electrógenos para que se realice el correcto dimensionamiento de las losas que soportaran estos equipos. Sobre estas losas se debe considerar, al igual que en los cargadores, una altura de 15 cm sobre el nivel de tierra.

Todas las instalaciones deben contar con un sistema contra incendio especial y los componentes eléctricos (polvo seco) y deben poseer un dimensionamiento correcto de las cámaras de distribución e incluir drenajes ante posibles lluvias. Además, se debe contar con un plano con detalles de banco de ductos, trincheras, bases para cargadores y losas de grupos electrógenos.

En el caso de Valdivia, se observa en las imágenes dos puntos principales que deben ser necesarios tomar en consideración. La primera está dada por una falta de losa de concreto para los buses y los respectivos cargadores, lo cual es fundamental para prolongar la vida útil de ambos. En un segundo lugar, nos encontramos con la falta de techo, siendo esta estructura indispensable en el diseño y construcción de un terminal eléctrico, ya que entrega seguridad y

protección tanto de lluvia como de sol directo no solo a los cargadores, sino a toda la estructura eléctrica correspondiente.

Dentro de las recomendaciones, es necesario destacar el rediseño de las entradas y salidas de los terminales, debido a los tiempos de carga asociados a los buses eléctricos entre servicios, donde los buses no pueden moverse del sitio de carga específico.

Recomendaciones Asociadas a la Disponibilidad de Energía

En el caso de la disponibilidad energética solicitada para el terminal eléctrico, es recomendable analizar la factibilidad energética con los organismos pertinentes, ya que podría suceder que el circuito esté con poca holgura de energía, haciendo más compleja la alimentación del electroterminal. Para esto también es importante ubicar las líneas de media tensión y la ubicación de las subestaciones eléctricas más cercanas al terminal de buses.

Diseño y requerimientos para la Infraestructura Eléctrica

El diseño de cargadores propuesto para cada electroterminal, depende de la flota de la línea correspondiente. Teniendo en consideración que existen terminales donde líneas de operación comparten la loza de carga, se estiman los cargadores de la siguiente forma:

Tabla 35 Análisis de ruta para número de cargadores para bus tipo A (Fuente: CMM)

Ruta	Autonomía [km]	N° Vueltas [#]	Factor conducción [%]	Flota promedio [#]	Flota máxima [#]	N° Cargadores
11	114.67	7	1.1	17	20	10
1	114.67	4	1.1	30	36	18
20	114.67	1	1.1	75	92	46
22	121.41	6	1.1	19	21	11
2	129.00	4	1.1	30	33	17
3	121.41	3	1.1	32	39	20
4	129.00	4	1.1	30	38	19
5	129.00	5	1.1	23	26	13
9	114.67	3	1.1	33	40	20

El análisis considera equipos de potencia de 140 kW para cada uno, con dos conectores que puedan entregar una potencia independiente de 70 kW. De esto se deduce que la capacidad mínima energética con la que deben contar los terminales va desde los 0.7 MW hasta los 1.82 MW,

Como parte del proyecto de recarga y para evitar los efectos de las corrientes de fuga de los rectificadores y generar un electroterminal con una mayor robustez frente a fallas, se recomienda trabajar con una conexión de media tensión y 1 bloque de carga alimentado por un transformador, este debe determinarse a partir del voltaje disponible en el terminal. Con lo anterior, el terminal debería considerar los siguientes puntos:

- Transformador: Su potencia dependerá del voltaje disponible en cada terminal.
- Potencia del cargador: Se utilizó para este análisis uno de 140 kW.
- Cantidad cargadores cargando simultáneamente dependiente del terminal.
- Cantidad de cargadores de respaldo: 1 por cada terminal.
- Sistema de Distribución interna: Verificar si es necesario modificar la estructura de red en el terminal
- Sistemas de voltaje de respaldo.
- Factor de potencia del diseño: 0.97

Dado lo observado en los electroterminales implementados tanto en Santiago como en otras ciudades de diversos países latinoamericanos, la recomendación es la de considerar en el proyecto final los consumos del taller y el resto de la planta, ya que estos consumos suceden durante el día y los consumos de carga son, en general, durante la noche, por lo que la demanda máxima de ambos consumos es complementaria y una clara optimización para los costos energéticos.

También, es importante incorporar un sistema de gestión de recarga y gestión de flota, evitando así que los cargadores carguen fuera de la hora establecida y que los consumos se agreguen al consumo fuera de los horarios programados, o que se produzcan cargas en hora punta. Esto también puede optimizar el uso de los cargadores y reducir la cantidad de estos necesarios para la operación de la flota. En el caso de Santiago, algunos terminales alcanzan a operar con un promedio de 3.7 buses por cargador, dado el uso de sistemas de gestión de carga inteligentes.

Teniendo en consideración lo anterior, se establece un sistema de carga con las condiciones nombradas anteriormente y, adicionalmente, con una jornada de trabajo dada por 1 carga nocturna total. Teniendo una consideración que la frecuencia de salida es de 10 min, y que las horas de carga varían dependiendo de la ruta, descrito anteriormente.

Instalaciones adicionales requeridas

Como elemento adicional se sugiere la instalación de un sistema de respaldo, el cual consiste en generadores para respaldar al menos 50% de la potencia. Lo anterior es debido a que, en caso de corte de energía, es posible realizar carga continuamente durante el día sin ser afectado por la tarifa y adicionalmente respaldar 2 transformadores en caso de falla de éstos. Este respaldo podría consistir en baterías para evitar el uso de combustibles fósiles en la operación de buses eléctricos.

Dimensiones mínimas de la zona de carga

Para el dimensionamiento del electroterminal se debe considerar principalmente la zona de carga de vehículos, como punto de mayor necesidad de espacio.

Para la zona a utilizar se propone elegir un modelo de carga con estacionamiento en retroceso. Para este modelo, se selecciona un ángulo de 90 grados en el proceso de estacionamiento para así operar de acuerdo con el diseño existente.

Al ser un estacionamiento compartido con una flota mayoritariamente de combustión, los espacios para el taller, lavado y circulación se mantendrán sin cambio, salvo el área de exclusión detectada bajo los postes de media tensión. Sin embargo, esto depende del tamaño total de la flota y el proceso de electrificación escogido.

Diseño o distribución óptima para su operación

Si bien el dimensionamiento anterior es una buena aproximación a los espacios necesarios y a la distribución de las líneas de carga, es recomendable refinar el diseño para lograr el óptimo operacional según los presupuestos disponibles. Esto es de importancia ya que la solución seleccionada representa una de las menos costosas de implementar, sin embargo, es posible con un costo inicial algo superior generar una solución que haga mejor uso de los espacios y sea óptima para la operación. También se recomienda realizar un dimensionamiento final una vez definido el modelo bus adjudicado, incluyendo cualquier accesorio.

Sistemas de seguridad

Como elementos de seguridad constituyentes de la zona de recarga, es imprescindible colocar topes y guías para evitar que los buses al retroceder golpeen la infraestructura de carga.



Figura 27: Topes en un electroterminal (Fuente: Elaboración propia)

Otro elemento necesario, es la construcción de un techo que cubra los cargadores y que además sirva como soporte para los cables de carga, ya que estos deben tocar el pavimento lo menos posible para prolongar su vida útil. El techo también podría servir para incluir paneles fotovoltaicos como suplemento energético al terminal y la operación de buses.



Figura 28: Techo en un electroterminal (Fuente: Elaboración propia)

En las siguientes secciones se profundiza en los aspectos normativos, principalmente en los estándares RED que rigen las nuevas normativas y mejores prácticas para la instalación de electroterminales y operación con buses eléctricos.

Estándares y Normativas para Infraestructura y buses eléctricos

Normativa y Requerimientos técnicos en buses eléctricos en el estándar RED

En la Tabla 11 observa que la antigüedad máxima de los buses al iniciar los servicios en el perímetro de exclusión es de 20 años máximo en todos los servicios. Sin embargo, al séptimo año de prestación de servicios la flota debe tener una antigüedad máxima de 15 años, esto implica que los operadores deberán ir renovando su flota en el transcurso del servicio. Además de lo anterior, al término del sexto mes de operaciones se deberán incluir 17 buses con estándar RED distribuidos en los distintos operadores. La

Tabla 36 a continuación, resume requisitos técnicos del estándar RED.

Tabla 36: Extracto de requisitos técnicos de estándar RED. (Fuente: Elaboración con información de la DTPR)

Estándar RED	
Dimensiones	Longitud: mayor o igual a 8 (m) Ancho: menor o igual a 2,6 (m) Altura (exterior): 4,2 (m)
Suspensión	neumático + sistema de inclinación
Transmisión	Automático; debe garantizar arranque en pendiente de 20% o más y velocidad de 0 a 20 (km/h) en menos de 10 segundos bajo carga máxima posible del bus.
Capacidad	25 asientos (incluye abatibles y del conductor)
Emisiones	EURO V o superior
Accesibilidad Universal	Entrada baja y rampas; asientos preferenciales; espacio silla de ruedas. Señalética especial, color, y pasamanos con textura;
Gestión / Control	Sistema AVL (GPS) y contador de pasajeros
Accesorios	A/C, Wifi, cargadores USB: tipo A; 1[A] mínimo; 1 cada dos asientos

Dentro de los objetivos del plan de electrificación en la Región de los Ríos, se debe tener en consideración la normativa actual existente, para vehículos eléctricos y, en específico para los buses eléctricos. Esto debido a los cambios normativos y la entrada nueva legislativa que afecta directamente a los BEB's.

Teniendo en consideración lo anterior, también se contemplan los cambios asociados a los planes de recambio con relación a vehículos eléctricos en el transporte público. Hoy en día, en lo que respecta a la normativa de vehículos eléctricos, se cuenta con una serie de decretos, resoluciones, ordenanzas y una ley, creadas tanto por el Ministerio de Energía como el Ministerio de Transporte. En este sentido, y teniendo en consideración la Región de los Ríos y la zona Sur del país, las normativas a seguir son:

- **Decreto N°107 del año 2016** correspondiente al Etiquetado Vehicular, dado por el Ministerio de Energía. El cual establece etiquetado de eficiencia energética para vehículos livianos y medianos de pasajeros y comerciales, incluyendo los vehículos híbridos y eléctricos cuyo rendimiento energético se mide en (km/kWh).
- **Decreto N°145 del año 2018**, dado por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, que aplica un conjunto de exigencias relativas a requisitos técnicos, constructivos y de seguridad de los vehículos eléctricos al momento de ser homologados por el 3CV.
- **Decreto N°212 del año 1992**, dado por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Reglamento de los servicios nacionales de transporte público de pasajeros que establece, entre otros, que la potencia mínima que debe tener el motor eléctrico para un taxi o taxi

colectivo, de tecnología eléctrica o híbrida, debe ser igual o superior a 70 (kW). Si este requisito no se cumple, entonces el vehículo no puede ser inscrito para estas modalidades de transporte público de pasajeros.

- **Resolución Exenta N°1555 del año 2020**, dado por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, donde se establece que los vehículos eléctricos e híbridos quedan exentos de restricción vehicular

Uno de los primeros aspectos que se deben tener al trabajar con vehículos eléctricos es la clasificación de ellos según sus requerimientos. Para el caso de Valdivia se trabajan con buses tipo A. Los detalles técnicos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 37. Requerimientos de un bus eléctrico. (Fuente: SEC)

Tipo de Bus	Características técnicas	Características sistema a Bordo
Bus tipo "A"	Buses entre 8 mts y 10.9 mts.	Sistema GPS, AVL online
	Sistema Gestión de Baterías	Recaudo Electrónico
	Diseño Estándar RED	Contadores de pasajeros
	Accesibilidad Universal	
	Aire Acondicionado	
	WIFI a bordo	
	Autonomía Mínima: 170 km	
	Capacidad Mínima: 40 plazas y 21 Asientos	

De igual manera, se solicitan requerimientos centros de carga, de manera tal que el operador deberá construir e instalar la infraestructura necesaria para la operación y funcionamiento de un Centro de Carga, permitiendo la correcta carga de los buses eléctricos. Las características del sistema de carga se entregan en la siguiente tabla. En las siguientes secciones se aborda el estándar Red para terminales.

Tabla 38. Requerimientos para sistemas de carga. (Fuente: SEC)

Bus "A"	Características técnicas
Sistema de Carga	Sistema Gestión de Baterías
	Cargadores Centro de Carga
	Potencia Requerida de 2.6 MW (referencial)
	Carga Nocturna

Modificación de normativa para buses eléctricos

A partir del año 2021 la normativa correspondiente a los buses eléctricos fue modificada en varios aspectos, en específico el Decreto Supremo n° 44, del Ministerio de Transporte y

Telecomunicaciones, que aprueba el reglamento del programa especial de renovación de buses, minibuses, trolebuses y taxibuses.³³

Esta modificación se encuentra relacionada en específico para los procesos de renovación de buses, según el programa al que se esté aplicando. Es por esto que quienes deseen renovar por buses eléctricos, deberán realizarlo a través de "Unión Temporal de Postulantes" (UTP), que es una agrupación de personas naturales, personas jurídicas o una combinación de ambas, que se reúnen con la sola finalidad de optimizar su acceso al financiamiento, adquisición y mantención de buses eléctricos.

De esta manera, cada persona integrante de una UTP es propietaria de uno o más vehículos salientes y entrantes, pero participan como postulante único en el proceso. Siendo la cantidad mínima para postular con esta modalidad (mediante una UTP) es de 10 buses.

El período y forma de postulación depende de cada región y consta de dos etapas calendarizadas en las bases de convocatoria de cada Gobierno Regional (GORE). Para el año 2021, en la Región los Ríos se abrieron las postulaciones el 19 de agosto.

En el caso de que el bus a comprar, es decir, el vehículo entrante sea un bus eléctrico estándar RED, definiendo como bus eléctrico aquellos que cuenten con motor eléctrico puro, entendiendo como tal aquel vehículo impulsado exclusivamente por energía eléctrica. Y siendo los buses nuevos aquellos que el año de inicio de convocatoria o siguiente y cuya inscripción en el Registro de Vehículos Motorizados corresponda al primer propietario.

Asimismo, las condiciones técnicas de los buses corresponden a un largo mínimo de 8 metros con un mínimo 25 asientos incluidos abatibles y conductor. De igual manera deben cumplir con resolución del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) que establece estándar RED, certificado por 3CV.

Para la postulación del programa "Renueva tu Micro" se debe poseer inscripción vigente en el Registro Nacional de Servicios Transporte Público de Pasajeros (RNSTPP), de la misma región y tipo de servicio (urbano o rural) al que pertenecía el vehículo saliente. Contar con certificado emitido por un operador tecnológico, que cuente con un sistema de Localización Automática de Vehículos, GPS o similar.

A diferencia de los buses diésel que participan en el programa de renovación, para este proyecto se debe presentar la Unión Temporal de Propietarios (UTP), la cual se define como una asociación de personas naturales, personas jurídicas o de unas y otras, que se agrupan con la sola finalidad

³³ <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1162249&idParte=10247971&idVersion=2021-07-03>

de optimizar su acceso al financiamiento, adquisición y mantención de buses eléctricos; de modo tal que cada uno de sus integrantes es propietario de uno o más vehículos salientes y entrantes y que conjuntamente y como un postulante único, participan en el proceso de renovación convocado por el Gobierno Regional, en el contexto del Programa Especial; independizándose una vez adjudicados los beneficios a los que han postulado.

La UTP deberá presentar Informe de Proyecto de postulación de Vehículos Eléctricos (IPVE) aprobado por MTT. De igual manera deberá entregar una garantía por el 50% del subsidio total.

Sin perjuicio de lo anterior, podrán participar de la Unión Temporal de Postulantes, los arrendatarios con opción de compra que presenten un mandato, otorgado de acuerdo a las reglas generales, por medio del cual la entidad, persona o personas propietarias del vehículo les haya facultado a percibir el valor de compra.

El Ministerio a través de acto administrativo establecerá la cantidad mínima de vehículos que deben integrar la Unión Temporal de Postulantes.

Si el bus accede al bono de acceso universal, deberá presentar certificado de 3CV que lo acredite. Para este bono se aceptarán buses con elevador si son año de fabricación 2021. Desde año de fabricación 2022 en adelante, se exige bus de piso bajo.

En el caso de los buses eléctricos, el monto considera tanto la compra como las inversiones requeridas en los centros de carga y adecuaciones necesarias por la potencia eléctrica, así como también todo tipo de mantenciones y cambios de baterías que se necesiten en el futuro y asciende a \$20.000.000. Según lo establecido en la Ley N° 20.378, el programa dura hasta el año 2022.³⁴

Requerimientos para Infraestructura de carga

Tener claridad sobre estos aspectos regulatorios permite tomar mejores decisiones de tecnología en el momento de incorporar buses eléctricos a una flota. En este sentido, es importante resolver a nivel de mercado varios aspectos determinantes en el escalamiento de estos servicios. Esto incluye el estándar de carga que se utilizará - sea el chino (GB/T), europeo (IEC/CCS), japonés (CHAdeMO) o norteamericano (SAE). Igualmente, se deben revisar aspectos de comunicación entre el vehículo y el cargador para facilitar el uso de sistemas de carga inteligentes, incluyendo también pliegos normativos de seguridad para empalmes, canalizaciones, tableros, sistemas de puesta a tierra y alimentadores, entre otros. Finalmente, se deben considerar especificaciones mínimas de seguridad para cargadores, incluyendo protecciones, conectores, criterios de diseño, estándares y

³⁴ <https://espaciot.cl/2021/06/30/union-temporal-de-postulantes-electromovilidad-al-alcance-de-todos/>

mecanismos de autorización para su comercialización. Un ejemplo que busca comunicar la información y experiencia en distintos lugares del país es la plataforma de electromovilidad del ministerio de energía³⁵.

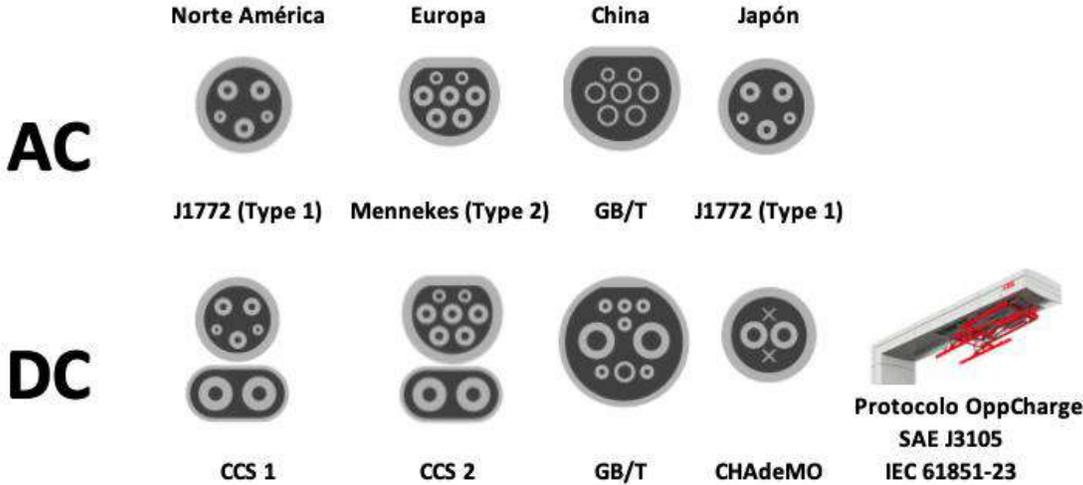


Figura 29: Tipos de conectores del mercado internacional.

³⁵ <https://energia.gob.cl/electromovilidad/sistemas-de-carga/cargadores-electricos>

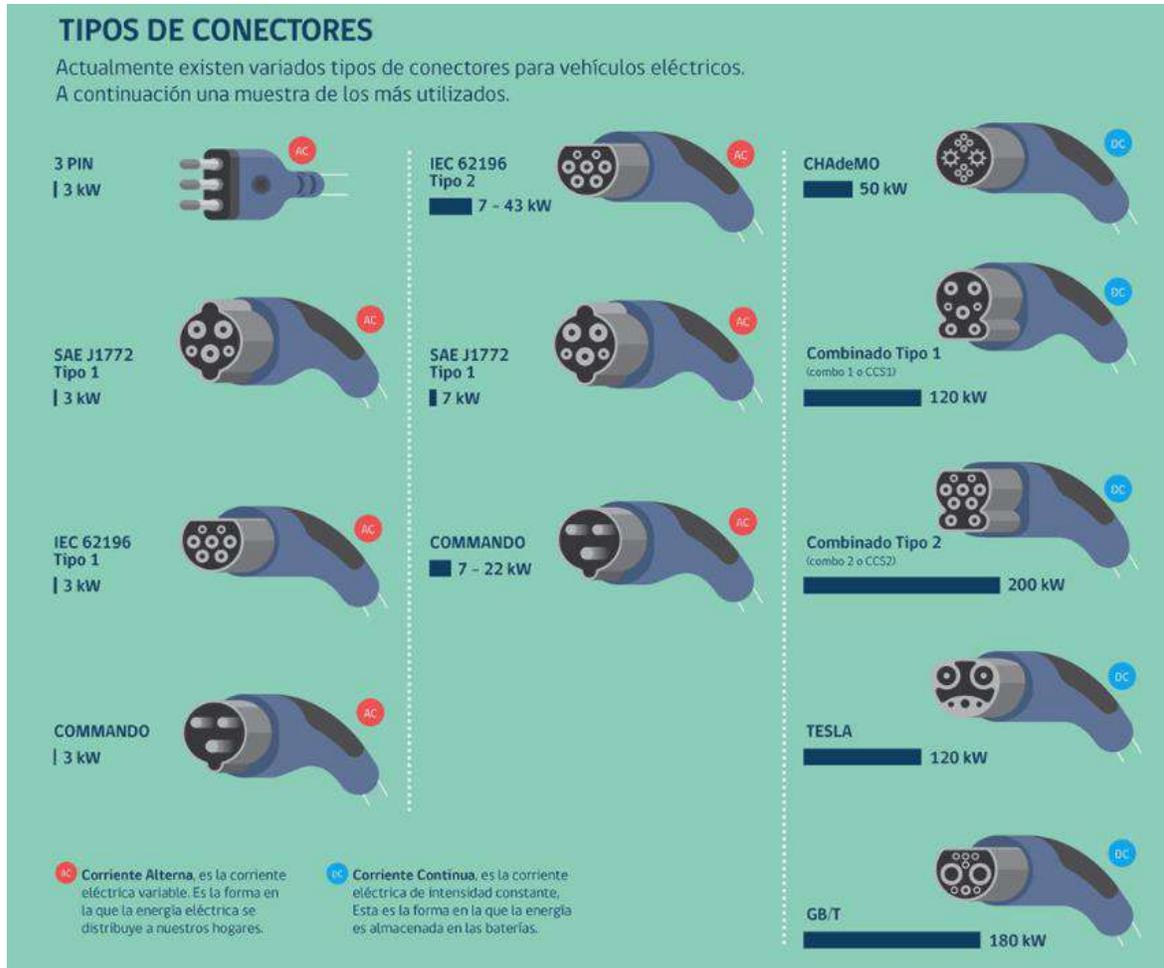


Figura 30: Tipos de conectores más utilizados según su potencia eléctrica. (Fuente: Ministerio de Energía - Plataforma de Electromovilidad).

En Chile el pliego 15, de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles busca regular estos aspectos. El pliego salió a consulta pública en el 2019, entrando en vigor en su formato final el año 2020. El pliego cubre ciertos aspectos mínimos que deben cumplir las instalaciones de carga. Sin embargo, en el caso de la licitación de flota de RED, se ajustan aún más ciertos aspectos, en particular los conectores y protocolos de carga, permitidos para poder asegurar la interoperabilidad la carga de buses eléctricos en el sistema de transporte público.

Resumen PLIEGO 15

Posibilidades de la IRVE	Clasificación Instalaciones				
	Viviendas individuales	Edificios Privados	Autoservicio Acceso Público	Electrolineras	Electroterminales o Centros de carga para servicio público
<p>➤ <u>Modo de Carga permitidos</u></p> <p>2 3 4</p>	Todos	Todos	3 o 4	3 y 4 (ambos)	Todos
<p>➤ <u>Conectores permitidos</u></p> <p> AC Tipo 1 DC CCS 1 CHAdEMO AC Tipo 2 DC CCS 2 </p>	Todos	Todos	AC o DC (BNUP) (Al menos 22kW)	AC y DC (Al menos 22kW)	Todos + GB/T DC
<p>➤ <u>Protocolo Comunicación e identificación Usuario</u></p>	No Obligatorio	N. O.	Min. 1.6 RFID o QR	Min. 1.6 RFID o QR	No Obligatorio
<p>➤ <u>Gestión de Carga</u></p>	SAVE >100kW	Todos	SAVE >100kW	SAVE >100kW	SAVE >100kW
<p>➤ <u>Otros</u></p>	Doble empalme	Diseño Ed.	Señalética	Señalética	Aprovecha holguras red

Figura 31: Resumen PLIEGO 15 (Fuente: Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos. Ministerio de Energía)

Siguiendo esta experiencia, se sugiere trabajar de acuerdo con la norma IEC61851, estándar internacional para sistemas conductivos del vehículo eléctrico, y establecer como protocolo de carga, el CCS Combo 2 en DC o en caso de considerar unidades de carga alterna, el protocolo IEC62196³⁶ tipo 2 (Mennekes). Esta infraestructura de carga debe operar según el protocolo OCPP³⁷ 1.6 o superior y tener al menos los siguientes perfiles habilitados:

- Perfil Core
- Perfil Local Authorization List Management
- Perfil Firmware Management
- Perfil Smart Charging
- Perfil Remote Trigger

Los requerimientos específicos para la infraestructura de carga son:

Tabla 39: Requerimientos técnicos de la infraestructura de carga (Fuente: CMM)

1	Potencia (kW)	70 kW	Potencia total 140 kW, con 2 conectores, si utilizan ambos conectores, puede cargar con un máximo de 70 kW por conector.
2	Protección	Mínimo IP54	

³⁶ Bases, clavijas, conectores de vehículo y entradas de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos.

³⁷ Protocolo estándar y abierto para la comunicación entre puntos de carga y un sistema central.

3	Dimensiones máximas	A definir Largo, ancho, alto	A definir por el proveedor. Indicar dimensiones para la óptima ubicación en el electroterminal.
4	Método de instalación	Fija sobre base de piso	
5	Entrada de cables	Por zona inferior	
6	Alimentación	3 fases + 1 neutro + 1T	
7	Voltaje de entrada AC (V)	380V ± 15%	Se sugiere
8	Frecuencia (Hz)	60 Hz	
9	Factor de potencia	>0.98	
10	Rango de voltaje de salida DC (V)	250V / 750V	Se sugiere
11	Rango de corriente de salida DC (A)	2-160A	600-750V Constante potencia de salida
12	Coeficiente de onda (%)	< 0.5%	
13	Método de enfriamiento	Refrigeración por aire	Sugerido debido a experiencias anteriores.
14	Coeficiente de reparto de corriente (%)	< 5%	
15	Precisión de regulación de voltaje (%)	< 0.5%	
16	Precisión de flujo constante (%)	< 0.5%	
17	Eficiencia (%)	> 94%	
18	Ruido (dB)	< 65	
19	Tiempo medio entre fallos	> 12.000 (horas) /8 años	
20	Interfaz de carga	IEC 62196 ³⁸	DC CCS Combo 2 o AC tipo 2 (Mennekes)
21	Protocolo comunicación con el vehículo	ISO15118 ³⁹	
22	Cantidad de cables de carga por cargador	2	Cada cable debe suministrar una potencia máxima de 70 kW, si están operando simultáneamente y una potencia máxima total de 140 kW si está solo un conector de carga en operación. El cargador debe permitir la gestión de cada conector de carga en forma independiente cuando se conecten los dos cables a buses diferentes.

³⁸ Bases, clavijas, conectores de vehículo y entradas de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos.

³⁹ Interfaz de comunicación entre el vehículo y la red eléctrica. Parte 1: Información general y definición de casos de uso

23	Longitud de cada manguera	Mayor a 5 metros, de preferencia 7 metros.	
24	Soporte de mangueras	2	Cada manguera debe contar con un soporte a cada lado del cargador que permita su fácil manipulación y anclaje de parqueo
25	Sistema autenticación de usuarios	TARJETA / RFID / QR / APP e inicio remoto por inicio remoto OCPP	La forma de autenticación para inicio de proceso de recarga debe ser a través de un medio de autenticación local o a través de una transacción remota, la que debe permitir el iniciar con una potencia o corriente menor a la corriente o potencia máxima. Nos se aceptará un cargador que para iniciar carga con una potencia reducida necesite el envío de dos transacciones, esto es, inicio de carga y luego, limitación de potencia.
26	Modalidad de carga	Con un conector	El cargador debe permitir la conexión de un solo conector (cualquiera de los dos) a un único bus a una potencia de 140 kW o menos, y dejar el otro en modo disponible para posible conexión a otro bus.
		Con los dos conectores	El cargador debe permitir la conexión de los dos conectores a dos buses diferentes a una potencia de 70 kW o menos, según sea definido por el sistema de gestión, la configuración ingresada o los perfiles de carga enviados al cargador.
27	Parada de emergencia	Botón de para de emergencia	El cargador debe contar un botón que permita la desconexión del contactor que maneja el bloque de potencia en forma inmediata para casos de emergencia. El botón de parada de emergencia debe permitir el poder devolver a operación normal en forma local el equipo. Este equipo debe ser claramente visible desde el exterior, ser de color rojo y estar etiquetado con la palabra "parada de emergencia" o "E-stop".
28	Certificado de producto	Certificado de conformidad de producto.	El cargador debe ser suministrado con certificado de conformidad de acuerdo con la autoridad nacional de Panamá, en caso de ser requerido, por la normativa de ese país. El

			proceso de homologación del cargador estará a cargo del proveedor.
29	Tiempo de entrega	≤ a 15 semanas	Tiempo máximo de entrega de 15 semanas en Ciudad de Valdivia
30	Servicio postventa	Soporte remoto 7X24 en idioma Español y soporte local en terreno con un tiempo de atención ≤ 48 horas	
31	Garantía	8 años	
32	Sistema comunicación remota	Si, TCP/IP a través de WIFI, model celular compatible con las bandas de las redes de comunicaciones existentes en Panamá y Ethernet.	
33	Protocolo comunicaciones	OCP 1.6 actualizable	
34	Gestión de potencia	Con un conector	<p>Con un conector conectado a un bus el sistema de gestión debe permitir en línea y con un retardo no mayor a 5 minutos, el realizar las siguientes acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> -El inicio y término de carga de ese conector. -La modificación de la carga en términos de reducción o aumento de potencia y corriente de carga de ese conector. -La inhabilitación del conector en proceso de carga y del conector vacante. -La consulta de parámetros del cargador y de cualquiera de los conectores.
		Con los dos conectores	<p>Con dos conectores conectados a bus independientes, el sistema de gestión debe permitir en línea y con un retardo no mayor a 5 minutos, el realizar las siguientes acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> -El inicio y término de carga de cualquier conector en forma independiente o de ambos conectores. -La modificación de la carga en términos de reducción o aumento de potencia o corriente de carga de cualquiera de los dos conectores. -La inhabilitación cualquier conector.

			-La consulta de parámetros del cargador y de cualquiera de los dos conectores.
35	Parámetros informados por el cargador	El cargador debe informar en forma periódica mientras carga y a requerimiento, al menos los siguientes parámetros: -Corriente de carga de cada uno de los conectores. -Voltaje de carga de cada uno de los conectores. -Potencia de carga de cada uno de los conectores. -Contador incremental de energía de cada uno de los conectores. -Temperatura del pin más caliente del conector de carga, de cada uno de los conectores. -Temperatura interna del cargador.	
36	Mensajes y alarmas remotas	El cargador a través de alarmas OCPP o vendor specific debe informar con mensajes diferentes y reconocibles, al menos las siguientes alarmas o mensajes: -Fallo por apertura de puerta del cargador. -Fallo por detección de botón de emergencia presionado. -Fallo de carga por sobre temperatura de uno de los conectores. -Fallo de carga por sobre temperatura del banco de rectificadores. -Falla de uno o más rectificadores. -Fallo de carga, por fallo de carga en el vehículo eléctrico. -Fallo de carga por fallo en test de aislación.	

		<p>-Fallo de carga por sobre-voltaje o voltaje muy bajo.</p> <p>-Fallo de carga por sobre-corriente.</p> <p>-Activación de protecciones en el cargador.</p> <p>-Estado en el proceso de carga (preparando, iniciando, cargando).</p>	
37	Visualización del estado del cargador en pantalla o carcasa	Debe mostrar en pantalla o carcasa los estados del cargador mediante mensajes o señales luminosas de colores indicando los posibles estados: cargando, disponible, en proceso de validación, en falla, carga completa y demás disponibles	
38	Estándares de cumplimiento	<p>IEC 61851-1: requisitos generales.</p> <p>IEC 61851-21-1: vehículo eléctrico, cargador de a bordo, requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM o EMC, en inglés) para conexión conductora a un suministro de AC/DC</p> <p>IEC 61851-21-2: requisitos de vehículo eléctrico para conexión conductora a un suministro de AC/DC</p> <p>-requisitos EMC de sistemas de carga del vehículo eléctrico embarcados.</p> <p>IEC 61851-22: estación de carga AC de vehículo eléctrico (solo para cargador AC).</p> <p>IEC 61851-23: estación de carga DC de vehículo eléctrico (solo para cargador DC).</p> <p>IEC 61851-24: comunicación digital entre una estación de carga DC de VE y un vehículo eléctrico, para el control de la carga de DC (solo para cargador DC).</p>	
39	Parámetros de salida	El cargador utiliza un módulo de alimentación activo y aislado con un voltaje de salida de 250V-750V. Considerando una caída de voltaje de línea razonable, el sistema de carga debe detener la carga y activar la alarma cuando el voltaje de salida del lado de CC	

		<p>y el voltaje de monitoreo del sistema de administración de la batería son inconsistentes.</p> <p>Etapa de carga: cuando la corriente de demanda no es 0, la velocidad del cargador para ajustar la corriente de salida a la corriente de demanda debe ser de al menos 4 A / 200 ms.</p> <p>Fase de parada: cuando la corriente de demanda es 0, la velocidad del cargador para ajustar la corriente de salida debe alcanzar al menos 100 A / s.</p>	
40	Tolerancia de corriente de salida para cargadores DC	<p>La corriente de salida se establece dentro del rango del 10% al 100% del valor nominal. Cuando la corriente de salida establecida es de 30 A o más, el error de corriente de salida no debe exceder $\pm 1\%$; Cuando la corriente continua de salida DC es menor a 30A, el error de corriente de salida no debe exceder $\pm 0.3A$.</p>	
41	Tolerancia de voltaje de salida para cargadores DC	<p>El voltaje de CC de salida está dentro del rango de ajuste correspondiente de 250V-750V, y el error del voltaje de salida del cargador no debe exceder $\pm 0.5\%$.</p>	
42	Características limitantes de voltaje y corriente	<p>Cuando el cargador está funcionando en un estado de corriente constante, cuando el voltaje de salida excede el valor de ajuste de voltaje límite, debería ser capaz de limitar automáticamente el aumento de su voltaje de salida y convertirlo en una operación de carga de voltaje constante.</p> <p>Cuando el cargador funciona a voltaje constante, cuando la corriente de CC de salida excede el valor de configuración del límite de corriente, debe poder ingresar inmediatamente al estado de límite de corriente y limitar automáticamente el aumento de su corriente de salida.</p>	

43	Protección contra sobre temperatura	El cargador debe tener protección interna contra sobre temperatura, tanto del cargador, como de los conectores de carga. Cuando cualquiera de estas temperaturas alcance el valor de protección, se reduce la potencia o se detiene la salida y emitir una alarma local y remota.	
44	Otros	El cargador debe poder ajustar manualmente el voltaje de carga máximo permitido y la corriente de carga máxima permitida a través de la pantalla. La pantalla del cargador debe poder mostrar información relacionada con la carga, como: voltaje solicitado por el vehículo, corriente solicitada, voltaje de salida del cargador, corriente de salida, tiempo de inicio de carga, tiempo restante, etc. Cuando la carga se suspende anormalmente, se debe mostrar que el sujeto de la anomalía es el cargador o BMS, y se debe mostrar la razón específica de la anormalidad de la suspensión. Cuando falla la carga, los mensajes antes y después de la falla deben almacenarse para analizar la causa de la falla.	
45	Monitor de Aislación	Como parte de la oferta se debe informar las características del monitor de aislamiento, los estándares que cumple, su marca y modelo.	
46	Protecciones	Se debe incorporar la marca y modelo de las protecciones principales y su contactor principal. Las protecciones y contactor principal deben cumplir con la norma IEC60947 y ser de una marca reconocida en el mercado panameño.	

47	Manejo de Líneas de energía	La protección principal debe ser tetrapolar, es decir, operar sobre las 3 fases y el neutro. Adicionalmente, se debe considerar un MCB y un RCD clase A. El contactor principal debe mantener la etapa de potencia del cargador siempre desenergizada, solamente debe conectar la potencia en caso de detectarse un vehículo conectado y de generarse el proceso válido para autorizar una carga.	
48	Integración con el vehículo	Lectura desde el vehículo de al menos los siguientes parámetros y transmisión de esos parámetros al sistema central: -SoC del vehículo. -VIN o identificador del EVCC o algún otro identificador único del vehículo eléctrico.	
49	Información Adicional	-Manual de instalación, con medidas precisas, para la confección de la base. -Manual de configuración -Manual de mantenimiento preventivo -Listado de repuestos necesarios para una operación continua por 8 años.	

Durante el 2018 – 2020, se publicaron una serie de normativas relacionadas con las instalaciones de electro terminales. En estas se definen los requerimientos para distintos cargadores, tanto públicos como privados, y diferenciando también entre particular y electrolineras o electro terminales. Entre los alcances de la normativa se encuentra la seguridad, la eficiencia en el uso de las redes eléctricas y flujos de información y la estandarización de protocolos y dispositivos para la carga que permitan la interoperabilidad entre las distintas identidades y tecnologías que formarán parte del ecosistema de la electromovilidad.

Seguridad, y Eficiencia de Redes

El reglamento que establece las exigencias mínimas que deben ser consideradas en el diseño de la construcción, operación, reparación, mantenimiento e iniciación de servicios para las

instalaciones de consumo de energía eléctrica está descrito en el Decreto 8/2019⁴⁰, “Reglamento de seguridad de las instalaciones de consumo de energía eléctrica.” La norma cuenta con 19 pliegos, de los cuales el pliego N° 15 corresponde a las infraestructuras de recarga de vehículos eléctricos.

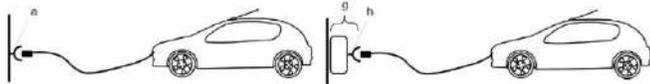
En el pliego N° 15⁴¹, se establece los requisitos de seguridad que deberán cumplir las instalaciones de recarga de vehículos eléctricos, ubicados tanto en lugares públicos como privados. Para ellos se diferencia primero en distintos modos de carga realizada a los vehículos eléctricos. Se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 40. Resumen de los modos de Carga y conexión. (Fuente: SEC)

Modo de Carga	Conexión	Comentario
1	Red de Alimentación Corriente alterna de 220 V con Máx. de 10 A de intensidad.	Utilización de conductores activos y protección. No será permitida para la recarga de vehículos eléctricos.
2	Punto de alimentación a través de un cable de carga IC-CPD conectado a un PCS (Punto de Carga Simple).	No utilizable para instalaciones de autoservicio con acceso a público ni electrolinerías.
3	Conexión directa de un vehículo eléctrico a la red de alimentación de corriente utilizando un SAVE.	SAVE: Sistema de Alimentación específico de vehículo eléctrico. Provee energía eléctrica en CA al convertidor CA/CC del vehículo eléctrico. Realiza funciones de control piloto y proximidad.
4	Conexión indirecta de vehículo eléctrico a la red de alimentación CA utilizando un SAVE que incorpora un convertidor CA/CC externo.	SAVE + convertidor externo, provee conexión CC a la batería del vehículo y realiza funciones de control piloto, proximidad y comunicaciones.

Los casos de conexión o carga entre el SAVE o PCS y el vehículo eléctrico son divididos en 3:

Tabla 41. Modos de conexión entre vehículos eléctricos y cargadores. (Fuente: SEC)

Caso	Comentario	Ilustración
A	Conexión de un VE a la red con cable y conector móvil fijados al	

⁴⁰ <http://bcn.cl/2icl0>

⁴¹ <https://www.sec.cl/sitio-web/wp-content/uploads/2020/10/RIC-N15-Infra-para-la-recarga-de-vehiculos-electricos-Final.pdf>

	VE o ciclo de manera permanente.	
B	Conexión de un VE a la red de alimentación con cable IC-CPD conectado a un PCS o cable para modo 3 conectado a SAVE con conector Tipo 2 sin cable	
C	Conexión del vehículo eléctrico a la red de alimentación con cable y conector móvil extraíble al VE y de manera permanente en el SAVE.	

(a) es PCS.
(b) Clavija tipo L o F o Industrial.
(c) Cable de carga IC-CPD o cable para modo de carga 3.
(d) Conector con cable hacia vehículos, (e) Sistema de Acoplamiento.
(f) Entrada alimentación vehículo, (g) SAVE (h) Conector sin cable del SAVE.
(i) Conector con cable hacia SAVE.

La norma también establece los requerimientos relacionados al empalme, tableros y alimentadores, que deben ser diseñados en conformidad con los Pliegos Normativos Ric N°01, N°02 y N°03. Un aspecto importante es el dimensionado de demanda (Factor de Demanda, FD) para la infraestructura de carga eléctrica, que dependerá de la energía requerida por la infraestructura. En el caso de electrolinerías y electroterminales se aplican lo siguiente:

Tabla 42. Rangos de potencia y Factor de Demanda para electroterminales y electrolinerías. (Fuente: SEC)

Tipo de Instalación	Potencia de recarga para VE		Rango FD
	Tramo	Potencia (kW)	
Electroterminales o Centro de carga para transporte Público	Hasta	20	1
	Entre	20 a 150	1
	Desde	150	0,5 – 1,0

La demanda energética es calculada a partir de la suma de todos los SAVE o PCS, que conectan a los cargadores. Según la norma establece que:

" La potencia instalada de la IRVE será la suma de la potencia de PCS, más la suma de la potencia de cada SAVE. Si la IRVE utiliza un SGC, la potencia instalada será la suma de la potencia de PCS más el factor de gestión de carga mínimo, impuesto por el SGC (Sistema de Gestión de Carga), multiplicado por la suma de la potencia de cada SAVE. Lo anterior, también aplicará para las IRVE que utilicen un SPA."

El SPA es el sistema de protección acometida general de la instalación, y al igual que el SGC, es el que permite realizar la disminución momentánea de la potencia de recarga del vehículo en función de la capacidad eléctrica instalada en los terminales.

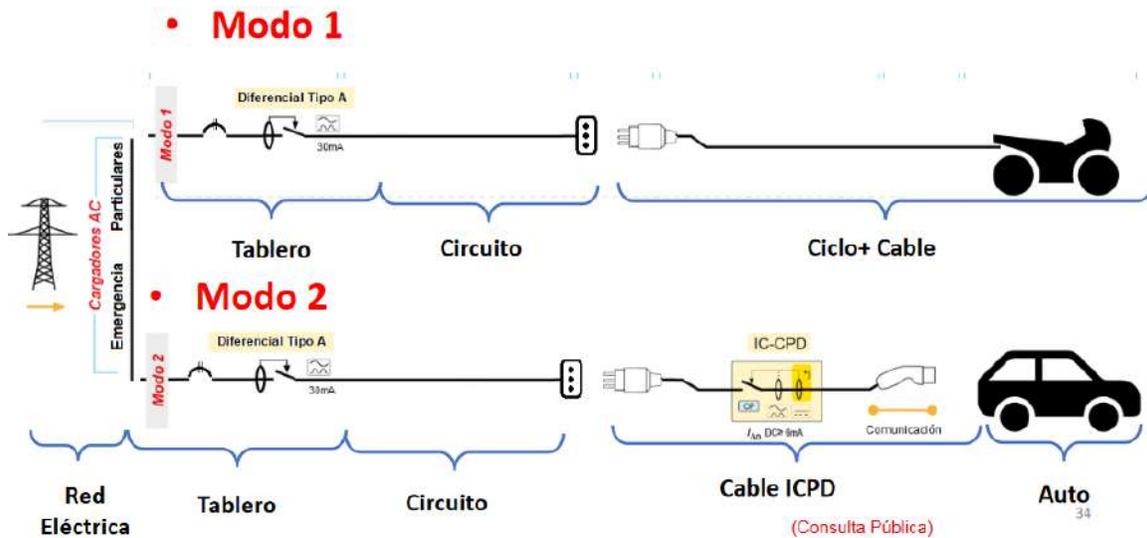


Figura 32. Modo 1 y 2 de conexión entre VE y red. (Fuente: SEC)

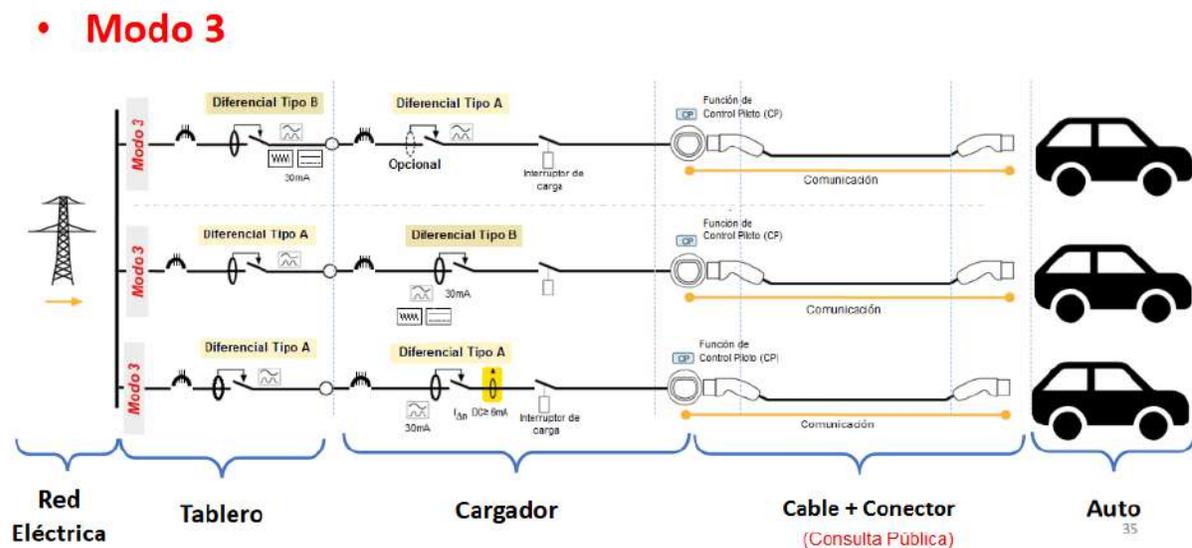
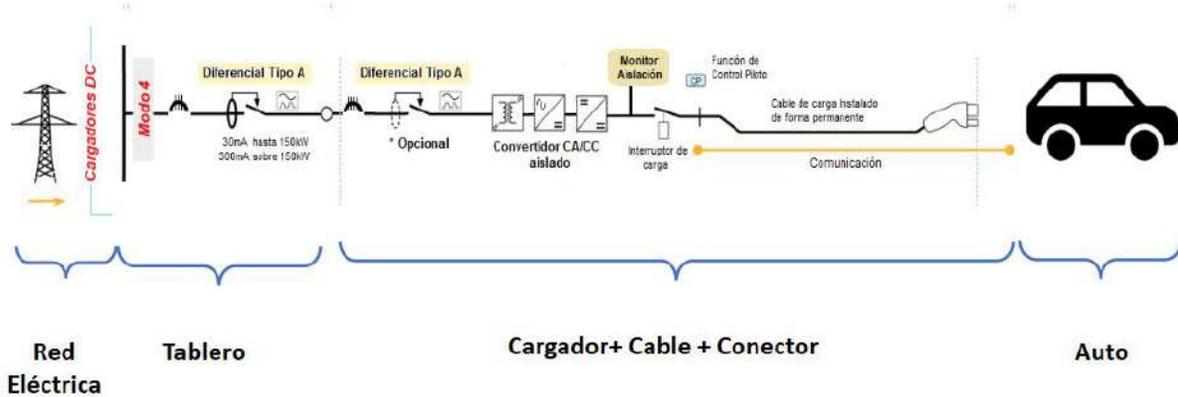


Figura 33. Modo 3 de sistema de carga para VE. (Fuente: SEC)

• **Modo 4**



(Consulta Pública)

36

Figura 34. Modo 4 de sistema de carga para VE. (Fuente: SEC)

La siguiente tabla resume los modos de carga:

Tabla 43. Resumen de los modos de carga y sus características. (Fuente: SEC, Min. Energía)

Características	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4
	Enchufe dedicado	no	Enchufe dedicado con protección y control incorporada en el cable	Cargador Externo
Nivel de comunicación	Sin comunicación	Comunicación Básica	Alto nivel de comunicación permite control de carga	Alto nivel de comunicación permite control de carga
Nivel de seguridad	Depende de la instalación eléctrica de la cual se alimenta	Mínima, depende de la instalación eléctrica, existe además comprobación de conexión a Tierra	Mayor, el gabinete del cargador tiene protecciones incorporadas	Mayor seguridad, gabinete de cargador tiene protecciones incorporadas.
Potencias	< 3.5 kW.	< 22 kW si es trifásico, < 7 kW si es monofásico	Por el momento, entre 3.5 kW y 43 kW	Mayores a 24kW

Por su parte el empalme tiene dos formas. En una, el cargador comparte un mismo medidor, y alimentación general, que el resto de los componentes de la infraestructura, tales como alumbrado, y otras cargas eléctricas. Este denominado no exclusivo. En el segundo modo, se establece un medidor único para los cargadores, este sistema se denomina Exclusivo.

En la normativa se definen diferentes configuraciones dependiendo de infraestructura, así como también si la instalación será individual, para un conjunto de viviendas o edificios, un servicio público etc. En general, el empalme dependerá de la potencia instalada para recarga, así como otras cargas que estén conectadas al mismo empalme, considerando que los conectores deben considerar una tensión de servicio mínima de 450/750 V en instalaciones monofásicas, en instalaciones trifásicas de 0,6/1 kV y en sistemas de distribución CC de 1,5 kVcc.

En la normativa se especifican también las condiciones de canalización, cuyos materiales deben cumplir con requisitos de resistencia de curvado, compresión e impacto, temperatura, propiedades eléctricas, etc. Lo referente al sistema de puesta a tierra, se detalla en el pliego técnico normativo RIC N°06.

Electrolineras y Electroterminales

Una electrolinera es el lugar en específico donde se suministra energía eléctrica a vehículos automóviles eléctricos e híbridos, para este caso en particular, a los buses eléctricos. Por otro lado un electroterminal se define como el espacio o terreno completo que cuenta con diversas lozas de estacionamiento junto con varias estaciones de carga o electrolineras.

En el caso de electrolineras la potencia mínima debe ser de al menos 22kW. La comunicación por su parte de los cargadores debe contar con protocolo OCPP 1.6 o superior, abordando esto en más detalle en la sección, y tiene que ver con la interoperabilidad de los vehículos. En estas infraestructuras está prohibido el modo 2 de recarga para vehículos eléctricos.

Es importante contar con una señalética que identifique la IRVE, asegurando su visibilidad, lo recomendado es a una altura de 1,8 a 2,0 m desde la calzada. El acceso al sistema SAVE de recarga, debe contar con un sistema de acceso a través de una identificación por radiofrecuencia (RFID) o un código de respuesta rápida (QR).

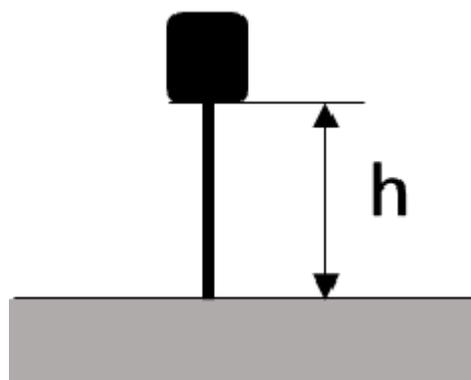


Figura 35. Señalética que debe contar el IRVE. La altura (h), corresponde a un valor en el rango 1.8 y 2.0 m. (Fuente: SEC)

En el caso de electroterminales, las instalaciones podrán disponer de modos de carga 3 o 4, cuyos cargadores o SAVE, deben contar con personal familiarizados con los riesgos de la energía eléctrica, contando con manuales de operación, mantenimiento preventivo y protocolos de emergencia.

Las instalaciones deberán contar con un suministro de energía de respaldo en caso de pérdida del suministro de la red eléctrica. Este dimensionado dependerá principalmente de la cantidad de buses, y de la estrategia de recarga. En caso de superar 1 MW de potencia, las instalaciones deberán ser abastecidas como mínimo con 2 transformadores. En los electroterminales los SAVE deberán además ser instalados de manera homogénea entre los transformadores de la instalación.

Para garantizar la operación de la instalación, se requiere establecer los mecanismos necesarios para esto, en acuerdo con la empresa distribuidora de energía eléctrica. En este acuerdo, se debe resolver toda solicitud que pueda necesitar las instalaciones. Será la Superintendencia quien delibere en caso de no haber acuerdo.

La tabla a continuación resume las características de los electroterminales y electrolineras.

Tabla 44: Características de electroterminales y electrolineras.

Infraestructura	Modo de Carga	Conectores Permitidos	Protocolo de Comunicación	Gestión de Carga	Otros
Electrolinera	3 y 4	Tipo 2, CSS2 y CHAdeMO	OCPP 1.6 Mínimo ISO 15118 (CCS2)	N° SAVE > 15 y potencia >100kW	- N°SAVE>15 Equipo RFID y para de emergencia - Operador obligatorio - Opción de comandar protecciones.
Electroterminal	1,3 y 4	Tipo 2, CSS2, CHAdeMO y GB/T DC	N/A	N° SAVE > 15 y potencia >100kW	- Respaldo para sistemas para de emergencia - Mecanismo anti-choque y anti – encendido de VE.

Interoperabilidad

La interoperabilidad está relacionada con la facultad de operar distintas tecnologías, de distintos orígenes, o con distintos fines. Para esto es necesario estandarizar los protocolos de comunicación entre las distintas tecnologías. Un protocolo de comunicación comprende un conjunto de reglas que permiten transmitir información relevante entre dos o más entidades. En

el contexto de electromovilidad, existen diversos protocolos que pueden ofrecer varias funcionalidades para comunicar las distintas entidades que participan en la electromovilidad. Por ejemplo, entre una estación de carga y un vehículo eléctrico se pueden tener protocolos que faciliten la comunicación entre ambos para establecer parámetros de seguridad, como: la verificación de que hay una buena conexión; la identificación del vehículo; la potencia máxima de carga soportada y otros parámetros que puedan permitir lo que denomina *Smart Charging*. También, existen protocolos para comunicar los puntos de carga con el operador del servicio (*Charge Point Operator*, CPO por sus siglas en inglés) permitiendo transmitir información sobre la red, cargas realizadas por cada estación u otra información relevante para el negocio del CPO.

La siguiente figura fue elaborada por ElaadNL en 2016⁴². En ella se muestran algunos protocolos en distintos roles dentro del ambiente de electromovilidad. Algunos protocolos se repiten en distintas partes del diagrama, porque un protocolo puede abarcar varias funcionalidades a la vez y comunicar distintas componentes (cargadores o sistemas asociados). También es posible que un protocolo se concentre en un solo aspecto de la comunicación, en este caso, se pueden tener distintos protocolos a la vez en una comunicación.

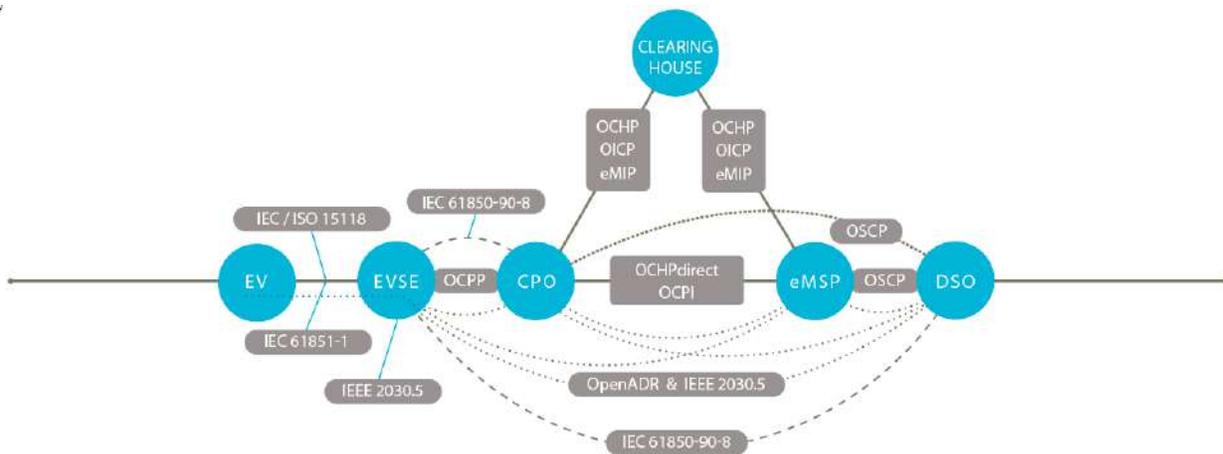


Figura 36. Protocolos de comunicación en el proceso de carga de un VE. (Fuente: Elaadnl)

Dos de los protocolos que se muestran en la imagen corresponden al OCPP (*Open Charge Point Protocol*) y el OSCP (*Open Smart Charging Protocol*), son promovidos por el *Open Charge Alliance* (OCA)⁴³. El OCPP es un protocolo de comunicación abierto que funciona de intermediario entre las estaciones de carga y el sistema de administración de la red. Al ser un protocolo abierto, facilita la interoperabilidad quitando la necesidad de utilizar protocolos propietarios. Actualmente se encuentra en su versión 2.0.1 (lanzado en abril de 2018).

⁴² Elaadnl. 2019. *EV Related Protocol Study: Original Study Report Version 1.1*. https://www.elaad.nl/uploads/files/EV_related_protocol_study_v1.1.pdf

⁴³ Ver <https://www.openchargealliance.org/>

Este protocolo soporta 129 tipos de datos y cuenta con 16 funcionalidades, que suman en total 116 casos de usos. Entre las funcionalidades se abarcan los ámbitos de seguridad, control de autorización, manejo de transacciones, control remoto, disponibilidad de flota, capacidad de hacer reserva, soporte para ISO 15118, entre otros.

La normativa que regula esto se llamará “Reglamento de Interoperabilidad” y se encuentra actualmente, en desarrollo, en donde se busca exigir la interoperabilidad de buses y cargadores con distinto origen. En la plataforma oficial del SEC, puede leerse el siguiente párrafo:

“En el artículo 6 de la Ley de Eficiencia Energética se mandata al Ministerio de Energía a velar por la interoperabilidad de los cargadores de vehículos eléctricos con el fin de facilitar el acceso y conexión de los usuarios de vehículos eléctricos a la red de carga.”

Ejemplos de Terminales con Estándar RED

En la Región Metropolitana, son más de 10 los electroterminales que operan actualmente bajo el estándar Red, abasteciendo cerca de 776 buses eléctricos que actualmente operan. A continuación, se detallan algunos ejemplos interesantes de la RM, que permiten la operación de buses eléctricos en Santiago.

Electroterminal Metbus Peñalolén

La terminal cuenta con 386 buses eléctricos, una potencia de 4MW y 63 cargadores. La estación también consideró la inclusión de paneles solares fotovoltaicos que contribuyen a la generación de energía eléctrica. El proyecto contempló un tiempo de 8 meses de trabajo intenso para el desarrollo del terminal y un costo de US\$3 millones⁴⁴. El proyecto fue desarrollado por Metbus en conjunto con Enel X, BYD y el MTT.



Figura 37. Electroterminal Peñalolén de Metbus. (Fuente: Enel)

⁴⁴https://www.enelx.com/content/dam/enel-x-cl/press-releases/15_12_2018%20CP%20Inauguraci%C3%B3n%20Electroterminal%20Pe%C3%B1alol%C3%A9n_v4.pdf

Electroterminal El Conquistador, Maipú

El terminal cuenta con 57 cargadores de alta potencia (150 kW), con una potencia de sistemas de monitoreo, para una carga inteligente. La instalación cuenta con una capacidad de 8.8 MW y permite el abastecimiento de unos 215 buses eléctricos. El terminal también cuenta con 1600 paneles fotovoltaicos que generan alrededor de 1 GWh/año. El proyecto contó con la colaboración y financiamiento de Copec, Andes Motor (Buses Foton) y el operador STP, con conjunto con el MTT. En este caso STP y el MTT actúan como arrendadores de buses y el terminal, el primero administra y gestiona la operación de los buses, mientras que Andes Motor, se hizo cargo de la adquisición, traslado y mantención de los 215 buses eléctricos. Por su parte Copec es el abastecedor energético del terminal⁴⁵.



Figura 38. Electroterminal El Conquistador. (Fuente: Copec Voltex)

Propuesta de Incorporación de movilidad eléctrica en los recorridos de Valdivia

Durante los últimos años, el mercado de buses eléctricos ha tenido un crecimiento exponencial en la flota incorporada al transporte público de Chile – llegando a un total de más de 900 buses actualmente recorriendo las calles del país. Sin embargo, la gran mayoría de estos buses circulan dentro de la Región Metropolitana. Fuera de esta, el número de buses es muy limitado. Durante 2021 y 2022, el Gobierno ha emprendido una serie de licitaciones con el fin de agregar un total de 476 buses eléctricos en 12 electrocorredores para implementarse en las ciudades de Arica, Antofagasta, Copiapó, Coquimbo-La Serena, Valparaíso (2), Rancagua, Talca, Concepción,

⁴⁵<https://www.revistaenconcreto.cl/grandes-obras-cchc/electroterminal-el-conquistador-movilidad-limpia-para-el-gran-santiago/>

Temuco, Puerto Montt y Coyhaique⁴⁶. Originalmente, Valdivia estaba incluida como una de las ciudades para incluir un electrocorredor, pero el proyecto nunca entro en etapas de prefactibilidad o diseño. Hasta el momento solo se han adjudicado 35 buses para un electrocorredor en Valparaíso. Mientras que algunos de estos otros procesos han sido cuestionados por los operadores existentes del transporte público de estas ciudades, en particular en Arica donde se pretendía renovar la totalidad de la flota de la ciudad⁴⁷.

Modelo de incorporación de operadores al despliegue de BEBs

En los últimos años, se ha visto la incorporación de la electromovilidad en el transporte público de Chile, comenzando con los primeros pilotos entre los años 2013 y 2018 que resultaron en el escalamiento exponencial que ha resultado en una flota de cerca de 800 buses eléctricos en Santiago al finalizar el año 2021. Estos buses han sido incorporados en el sistema de transporte público metropolitano, a través de la extensión de contratos con operadores existentes de la red, entre ellos Metbus, Redbus, STP y otros. Una situación distinta se ha visto en regiones. Durante el año 2021, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) ha elaborado una serie de procesos de licitaciones para recorridos en ciudades fuera de Santiago. La tabla a continuación resume los procesos de licitación previstos por el MTT para los años 2021 y 2022.

Tabla 45: Procesos de licitación de transporte público previstos para los años 2021-2022.

Ciudad	Numero de Buses	Numero de Recorridos	de	Modelo de Incorporación
Antofagasta	40	1 Electrocorredor	Zona de	Servicio Eléctrica – Licitación
Arica	170	Totalidad de Sistema	Zona de	Servicio Eléctrica – Licitación
Concepción	25	2 Electrocorredores	Zona de	Servicio Eléctrica – Licitación
Puerto Montt	11	1 Electrocorredor	Zona de	Servicio Eléctrica – Licitación
Rancagua	20	2 Electrocorredores	Zona de	Servicio Eléctrica – Licitación
Talca	11	1 Electrocorredor	Zona de	Servicio Eléctrica – Licitación
Temuco	10	1 Electrocorredor	Zona de	Servicio Eléctrica – Licitación
Valparaíso	35	2 Electrocorredores	Zona de	Servicio Eléctrica – Licitación

⁴⁶ <https://www.dtpm.cl/index.php/homepage/noticias/688-ministra-hutt-anuncia-que-corredor-de-transporte-publico-en-av-santa-rosa-contara-con-buses-electricos-en-2022>

⁴⁷ Ver Portal Movilidad (07.06.2021): “Duro mensaje de los operadores de Arica por la nueva licitación de buses eléctricos” disponible en <https://portalmovilidad.com/duro-mensaje-de-los-operadores-de-arica-por-la-nueva-licitacion-de-buses-electricos/>

Como aclara la tabla, el modelo de incorporación de flota eléctrica en regiones privilegiado por el MTT durante este año se ha basado en la definición de una Zona de Servicio Eléctrico que se acompaña por licitaciones de nuevos recorridos o Electrocorredores en cada una de las ciudades. Los procesos licitativos busca crear más competencia, inclusive la llegada de operadores internacionales con experiencia previa con flota eléctrica u operadores existentes en el sistema de transporte público de Santiago. Cabe resaltar que en la totalidad de los casos – con la excepción de Arica – los servicios licitados son nuevos recorridos o Electrocorredores.

Esta estrategia de incorporación de operadores a la electromovilidad ha sido en muchos casos criticado por los actuales operadores de los sistemas de transporte público de las ciudades antes mencionadas. Por ejemplo, los operadores de las líneas que componen el TransAntofagasta presentaron en Agosto del presente año una denuncia ante la Fiscalía Nacional Económica y una solicitud prejudicial al Tribunal de la Libre Competencia para detener el proceso de licitación del nuevo Electrocorredor. El presidente del gremio afecto, llegó a aseverar que “...el proceso del nuevo corredor de 40 buses eléctricos y nuestra evidente desaparición en un tiempo próximo, ya que este es el inicio de la nueva metodología de negocio que quiere implantar el gobierno en las regiones de nuestro país”⁴⁸. En el caso de Arica, se expresó el interés por transformar la totalidad de la operación de la ciudad a una Zona de Servicio Eléctrico. Sin embargo, esta estrategia ha sido fuertemente criticada por los operadores de la ciudad. En Junio el gremio sacó un comunicado como parte de una manifestación en la ciudad en el cual expresaba que “El gremio de taxibuseros de la ciudad de Arica, quiere comunicar a la ciudadanía, que de acuerdo a lo informado la semana pasada por el Ministerio de Transporte referente a la implementación de taxibuses eléctricos en la ciudad al corto plazo, deseamos manifestar nuestra molestia ya que encontramos que no es la manera correcta de proceder, ya que está atenta a nuestro derecho al trabajo”⁴⁹. Inclusive, llegaron a declarar que el 70% de los transportistas tienen deudas vigentes ante la banca por procesos de renovación de flota, aclarando que además el anuncio se llevó a cabo en un contexto de pandemia que ha afectado de manera severa los ingresos del transporte público de manera generalizada.

La actual estrategia de incorporación de buses eléctricos en regiones por parte del MTT tienen como fin mejorar las condiciones de operación y servicio del transporte público al igual que generar mayor competencia entre operadores. Igualmente, es una manera innovadora de incorporar no solo nuevos actores al sistema de transporte público, pero también una nueva

⁴⁸ Portal Movilidad (06/09/2021) Operadores de buses inician acciones legales para frenar el Electrocorredor de Antofagasta. Disponible en: <https://portalmovilidad.com/operadores-de-buses-inician-acciones-legales-para-frenar-el-electrocorredor-de-antofagasta/>

⁴⁹ Portal Movilidad (07/06/2021) Duro mensaje de los operadores de Arica por la nueva licitación de buses eléctricos. Disponible en: <https://portalmovilidad.com/duro-mensaje-de-los-operadores-de-arica-por-la-nueva-licitacion-de-buses-electricos/>

tecnología. Sin embargo, en muchos casos se ve que esta estrategia está dejando afuera del sistema a operadores existentes o por lo menos las declaraciones de los operadores muestran que dados los incentivos existentes (o falta de) para incorporar buses eléctricos, el modelo de incorporación es inviable.

En el caso de Valdivia, se han realizado varios acercamientos por parte del MTT (a través de su SEREMI) a los operadores y sus representantes para aclarar el interés por incorporar nuevos servicios eléctricos. Si bien algunos de estos operadores han mostrado interés, hasta el punto de formular un pre-proyecto para una primera operación con buses eléctricos, estas propuestas no se han llevado a cabo. A su vez, el transporte público de la ciudad ha sido fuertemente golpeado por el impacto de la pandemia y en el transcurso del año comenzó a operar el primer Perímetro de Exclusión para la ciudad. La presente estrategia también ha buscado acercamientos con operadores que se han mostrado interesados sin embargo se ha mostrado en general una falta de definición dado los altos costos asociados al recambio de flota. Dada la situación actual y la necesidad de avanzar no solo en mejorar la calidad de servicio y operación, pero tecnología vehicular en la ciudad y Región, se recomienda avanzar con un sistema mixto de incorporación de electromovilidad en la ciudad. Por un lado, transparentar de mejor forma los costos asociados de una operación con buses eléctricos en los recorridos existentes de la ciudad y avanzar a un sistema que busque cumplir con metas de electrificación en el corto y mediano plazo para llegar a la meta del gobierno de tener un sistema 100% eléctrico al 2040. Por otro lado, buscar formas de crear Zonas de Servicio Eléctricos en recorridos que puedan aportar a la mejor conectividad de las ciudades de la Región y aportar a la descongestión de las mismas. Sin embargo, cualquier modelo de incorporación tendrá que ser definido entre las distintas autoridades interesadas y los operadores afectados.

Recomendaciones y Oportunidades para el despliegue de BEBs

Oportunidades asociadas a las responsabilidades del sistema

En el sistema de transporte público se pueden identificar distintos roles, estos son: operador, proveedor de flota, proveedor de infraestructura de carga, recolección de tarifa y regulación. Estos roles del sistema pueden ser asumidos por un mismo actor o diferentes, es decir, para cada rol puede haber un actor distinto o un actor puede cumplir dos o más roles (por ejemplo: la misma empresa adquiere y opera los activos) o un mismo actor puede realizar todos los roles (por ejemplo: el estado en un sistema de transporte público estatal).

En el caso de Valdivia, el modelo de gestión es en general tradicional, es decir, el operador se encarga de adquirir, operar y mantener los bienes. En la Figura 39 se muestra un esquema general del modelo. Es un esquema simple de coordinar ya que hay solo un punto de articulación; dependiendo del sistema específico, la autoridad de transporte puede licitar servicios definidos

o simplemente autorizar el funcionamiento de una empresa para que realice los servicios que esta determine según criterios propios (generalmente económicos). En este modelo, es el operador quien asume todos los riesgos y gran parte de las barreras (todas las que no son responsabilidad directa de la autoridad, ejemplo: sobre políticas públicas y normativas). Por esto **no es un modelo adecuado para implementar la electromovilidad**.

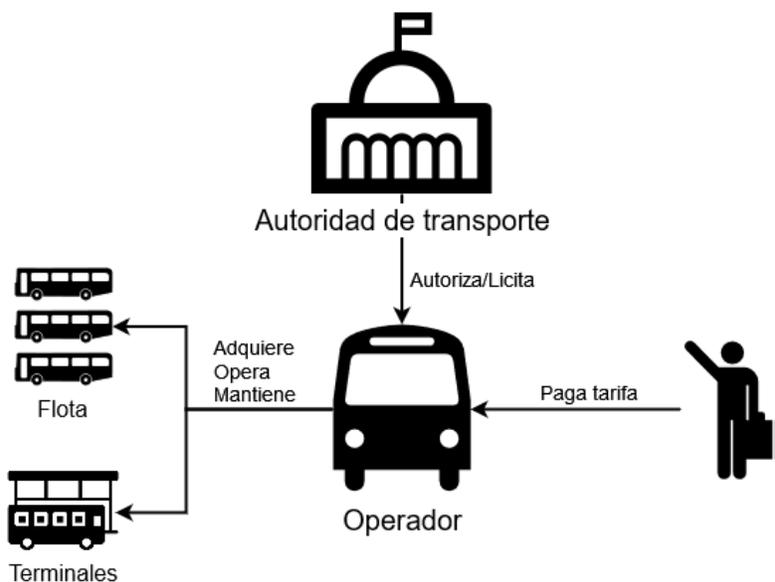


Figura 39: Modelo de gestión tradicional con operador no estatal.

Una variación a este modelo consiste en que el operador no adquiere los activos directamente, sino que un tercero los adquiere y luego los arrienda al operador como se muestra en la Figura 40.

El modelo de gestión con arriendo depende de cómo se implemente, el proveedor puede adquirir el activo completo o los componentes de más costo y riesgo del activo. Por ejemplo: el proveedor puede hacerse cargo sólo de la provisión de baterías, mientras el operador debe adquirir el chasis y carrocería del vehículo; una opción similar se puede dar con el sistema de carga donde el proveedor adquiere los cargadores e infraestructura eléctrica y el operador, el resto de la infraestructura del terminal. Los contratos de arriendo entre ambas partes pueden ser:

- **Contrato de arriendo-compra (*leasing*):** El operador arrienda el activo por un determinado tiempo, con el compromiso u opción de comprar dicho activo una vez terminado el plazo.
- **Contrato de compra-arriendo:** el activo es adquirido por el operador y vendido al suministrador y arrendado de vuelta. Esta opción se da cuando la entidad que invierte en adquirir los activos no puede comprarlos directamente.
- **Arriendo de componentes:** en esta opción no se arrienda el activo completo si no un componente de este, que generalmente es el más costoso o el más riesgoso. Por ejemplo, las baterías de un bus eléctrico.

- **Arriendo operativo:** el suministrador arrienda el o los activos al operador sin opción de compra al final del plazo. Este último se encarga de todos los gastos operativos y mantención. La mantención de los activos puede implicar otro tipo de contrato con el suministrador en el que este último certifica y/o exige ciertos estándares.
- **Arriendo financiero:** parecido a un préstamo; el operador debe tener un balance sólido y los plazos, generalmente, se acercan a la vida útil del activo. Se incluye un acuerdo de recompra al final del plazo de arrendamiento.

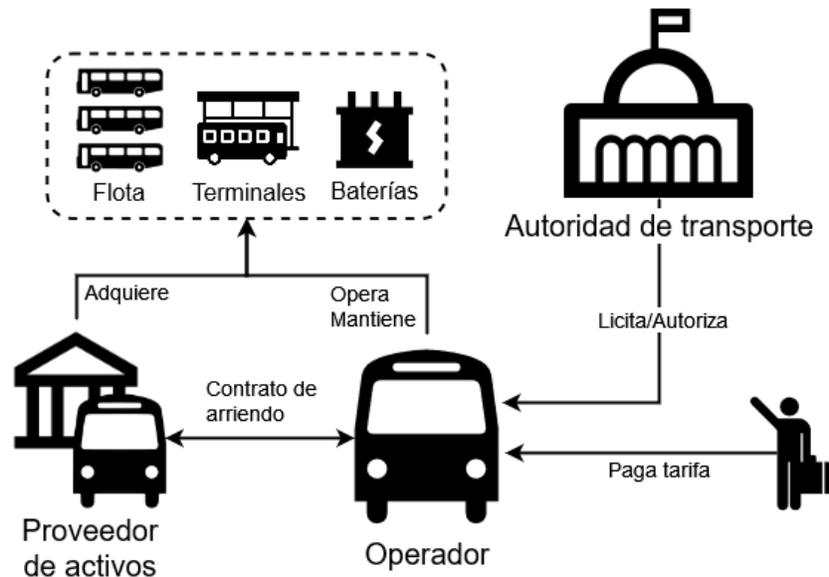


Figura 40: Modelo de gestión con arriendo de activos.

Este modelo distribuye las responsabilidades y los riesgos entre dos actores; el operador solo se concentra en las responsabilidades y riesgos de la operación y mantención de los activos, mientras que el proveedor asume lo relacionado a la adquisición de los activos. Este esquema abre la posibilidad de que se incorpore un actor con mejores herramientas para enfrentar las barreras financieras (como un grupo de inversión en electromovilidad, compañía eléctrica, etc.); además, al tener un alcance más limitado, ya que sólo se involucra en la adquisición de activos y no tiene otros riesgos del sistema, facilita la implementación de mecanismos de financiamiento como lo que se verá más adelante. El riesgo en este modelo recae en el proveedor de activos debido a que, si el operador quiebra o deja de operar por otro motivo, dejará sin uso los activos y sin ingresos al proveedor.

Un tercer modelo de gestión se muestra en la Figura 41, que se separa, también, la provisión de la operación de activos, pero los activos son parte del sistema evitando el riesgo anterior. Este modelo agrega dos actores más para ayudar a mitigar más riesgos del sistema. Aunque en la implementación específica algunos roles pueden variar (como se muestra más adelante en algunos ejemplos), a rasgos generales el modelo se articula de la siguiente forma:

- La autoridad de transporte licita el servicio de provisión de activos de forma tal que forman parte del sistema y no quedan fijos a un operador en particular, así el operador adjudicado puede ser reemplazado por otro (por quiebra u otros motivos) sin que los activos dejen de ser usados.
- La autoridad licita el servicio de operación; según como se establezca en los contratos, la mantención es responsabilidad del operador o del proveedor del activo.
- La entidad denominada como recolector de tarifa se encarga de administrar los ingresos del sistema. Es decir, recibe las tarifas de los usuarios y los aportes estatales; calcula los montos que corresponden a cada operador según criterios de desempeño, calidad y otros y cancela los arriendos a los proveedores de activos.
- El fabricante del activo (bus, batería o cargadores) establece el programa de mantenimiento y certifica las mantenciones; también, se puede encargar de la capacitación en esta materia. Este rol puede ser suplido por el proveedor de activos.

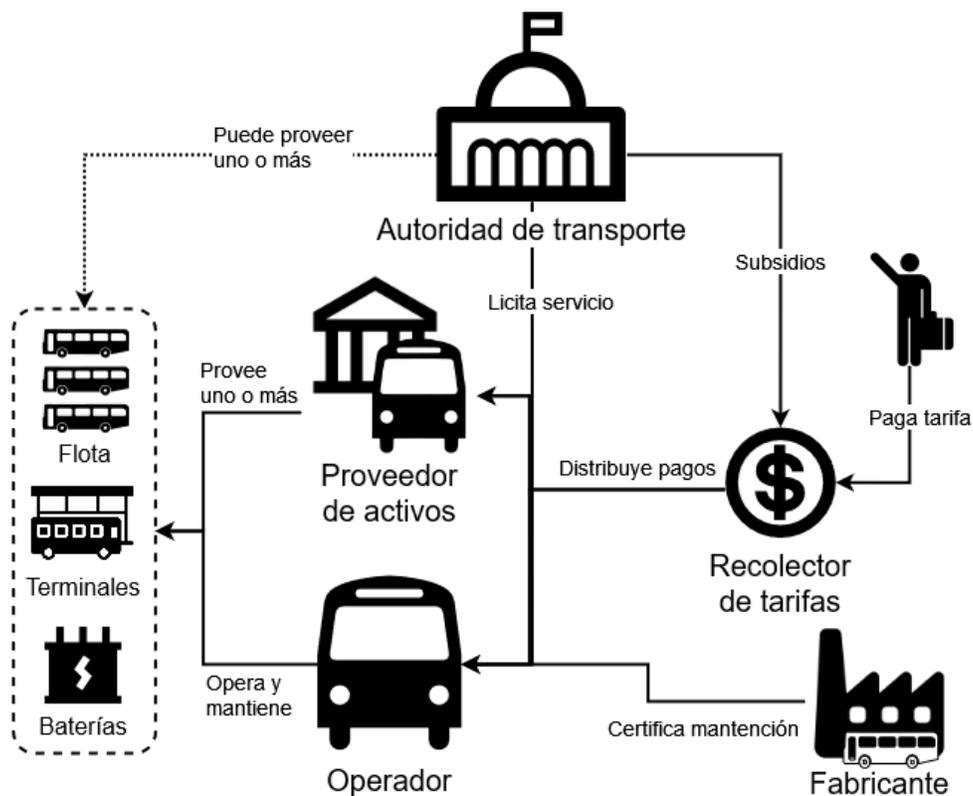


Figura 41: Modelo de gestión con propiedad y operación separados.

A continuación, se dan algunos ejemplos que implementan modelos de gestión con provisión y operación separadas.

A nivel nacional un ejemplo que resalta es el caso del sistema de transporte de Santiago. En su última licitación, el sistema se organizó en un modelo que separa provisión de operación similar

al último modelo mencionado, donde la autoridad de transporte licita la concesión de uso de vías organizado en unidades de servicio (conjunto de servicios o líneas y terminales). En estas unidades de servicios, la infraestructura (terminales) es suministrada por la autoridad de transporte y los buses son provistos por el suministrador de flota; es importante notar que en este sistema los roles de suministrador de flota y operador no pueden ser realizados por una misma empresa. En este esquema, los buses son parte del sistema, reduciendo el riesgo en la contraparte para el suministrador. Además, este esquema cuenta un fideicomiso que recolecta los ingresos del sistema (tarifas y subsidios estatales) y reparte los pagos entre los operadores de acuerdo con varios parámetros de cumplimiento y considerando bonificaciones por tecnologías implementadas. Del monto calculado para cada operador se descuentan las obligaciones por el arriendo de los buses, lo que se paga directamente a los proveedores de flota. De esta forma se asegura que siempre se pagará esta deuda, mitigando el riesgo de la inversión.

Un segundo ejemplo a nivel latinoamericano, se encuentra un estudio en Lima, Perú [8], en él se evaluaron distintos casos donde se incorporaban buses de 12 metros de distintas tecnologías (diésel, gas y eléctricos) en los corredores complementarios. El informe contempla un análisis de emisiones de gases, TCO y modelos de negocios para cada caso. En los modelos para buses eléctricos se estudian tres alternativas: *operador adquiere los activos mediante financiamiento*; *leasing parcial* (sólo baterías) y *leasing total* (bus completo). A continuación, se explican cada uno:

- 1. Modelo de negocio por financiamiento comercial:** El operador adquiere los buses y las baterías por medio de crédito prendario. Este modelo necesita generar condiciones favorables de financiamiento, por lo que se considera el uso de fondos concesionales adquiridos por medio de fondos climáticos.
- 2. Modelo por leasing parcial:** El operador adquiere el chasis y carrocería de los buses por medio de la banca comercial, mientras que la empresa de energía adquiere la batería e infraestructura de carga y se la entrega por leasing al operador.
- 3. Modelo por leasing total:** Las empresas de energía adquieren los buses y se hacen responsables de la disponibilidad de estos.

Las entrevistas que fueron realizadas en el estudio de factibilidad para la ciudad de Lima [8], Perú, identificaron una preferencia clara por la separación de la propiedad de la operación, propuesto principalmente por las empresas de energía como estrategias para la masificación de la tecnología eléctrica.

Por otro lado, con lo que respecta a la evaluación económica y financiera de los modelos, se encontró que el modelo de leasing total presenta indicadores financieros más favorables que los otros modelos debido a que la totalidad del vehículo es repagado en un plazo igual a su vida útil (14 años para este estudio).

Oportunidades asociadas al financiamiento

En el punto anterior se recomienda separar la operación de la propiedad de los activos, que se puede dar en distintos grados (bus completo, sólo batería e infraestructura de carga), con el objetivo de liberar a los operadores de los riesgos de adquisición. En esta sección se plantea un esquema general de una estrategia de financiamiento que facilite la adquisición de activos de electromovilidad para el transporte público.

El objetivo de esta estrategia es dar una opción de financiamiento especial que atienda los mayores costos de los activos y que, a la vez, disminuya las tasas de interés, aumente los plazos de pago (mayor a 10 años, incluso llegando a 14 años que es la vida útil de los buses) y mayor flexibilidad en el periodo de gracia.

Para lograr lo anterior, se deben **articular distintas fuentes de capital en un esquema de financiamiento concesional o blended**. Fuentes de capital pueden ser: bancos internacionales de desarrollo o MDB (*Multilateral Development Banks*), DFI (*Development Finance Institutions*), bonos verdes, préstamos internacionales de cambio climático, donaciones, fondos públicos, bancos nacionales e instituciones financieras locales. Estos *fondos* se canalizan a través de una entidad intermediaria, que puede ser una entidad financiera local o un SPV (*Special Purpose Vehicle*). Esta entidad administra y entrega el financiamiento al actor que adquirirá los activos. Los fondos se organizan en distintos tramos o niveles del financiamiento concesional o *blended* dependiendo de la fuente. Por ejemplo: fondos públicos y de cambio climático pueden participar como capital de *first-loss*, algunos MDB pueden cubrir garantías crediticias, mientras que el sector privado participa a nivel comercial.

Este esquema ofrece distintas formas de garantías que reducen los riesgos de inversión para atraer financiamiento y abaratar los costos de este. Como se menciona en el párrafo anterior, donaciones, fondos públicos, IDFs y MDBs pueden aportar con capital *first-loss* y/o cubriendo garantías crediticias.

Adicionalmente, se **deben asegurar ingresos mínimos al propietario de los activos** para que pueda pagar las obligaciones del préstamo; a través de la autoridad de transporte o un fideicomiso que asegure pago de demanda mínimo del servicio (si el operador es el dueño) o asegurando el pago del arriendo (si se separa propiedad de la operación).

Finalmente, para garantizar que los activos serán utilizados durante toda su vida útil, independiente de si el operador cambia o se mantiene en todo este tiempo, los activos deben **pertenecer al sistema de transporte**.

Oportunidades a partir de la creación de conocimiento técnico

En las barreras y los riesgos técnicos y tecnológicos se pueden encontrar varios puntos relativos a incertidumbre del ciclo de vida de la batería, a la autonomía real del vehículo, costos, disponibilidad, desconfianza, entre otros. Todo estos tienen relación con falta de experiencia local con la tecnología.

En la región de LAC existen muchos ejemplos, algunos exitosos y otros no tanto, con resultados que pueden ayudar a mitigar la problemática planteada; especialmente Santiago, que ya cuenta con flotas de buses eléctricos operando comercialmente, ofrece datos concretos de los cuáles se puede inferir, proyectar y modelar, con consejo experto, al contexto de Valdivia.

Sin embargo, sigue siendo importante contar con experiencia local en la que participen la ciudadanía, operadores y autoridades locales. Más allá de obtener datos reales sobre variables como autonomía y costos bajo el contexto de Valdivia, crear conocimiento técnico local permite generar experiencia en: la operación día a día del bus eléctrico y el sistema de carga; las nuevas relaciones contractuales entre fabricante, operador y proveedor de flota; la capacitación de conductores y personal técnico de mantenimiento y todo tipo de conocimiento que va más allá de los datos y que no se pueden adquirir fácilmente observando otras experiencias.

En esta sección se proponen dos metodologías para generar esta experiencia local: pruebas piloto y modelaciones con buses virtuales.

Una **prueba piloto** aporta datos reales sobre el comportamiento de los activos (e-buses y sistema de carga) bajo el contexto de Valdivia. También, adelanta los desafíos de capacitar conductores y personal de mantenimiento antes de implementar flotas de buses eléctricos a mayor escala; ayuda a generar confianza con la tecnología en operadores y ciudadanía; permite revelar tempranamente posibles dificultades en la implementación futura; entre otros beneficios.

Las **modelaciones** permiten experimentar con distintas configuraciones (modelo de bus, potencia, capacidad de baterías, estrategia de carga, etc.) de forma más rápida y económica que realizar múltiples pilotos. Los resultados mostrarán la factibilidad técnica y los costos de las distintas configuraciones bajo las rutas de operación estudiadas.

En una implementación correcta, las pruebas piloto y modelaciones se complementan entre sí. Los datos obtenidos de los pilotos permiten validar y mejorar la representación virtual (los modelos) de las rutas y los vehículos evaluados en las modelaciones. Por su parte las modelaciones dan la posibilidad de analizar una mayor variedad de rutas y diseñar de mejor forma los pilotos.

El uso en conjunto de ambas técnicas permite estudiar en profundidad la mejor configuración de modelo de bus, capacidad de las baterías y estrategia de carga para las características de Valdivia desde el punto de vista de requerimientos técnicos (peso, capacidad pasajeros, etc.); y

económicos (TCO, CAPEX, OPEX). También, permiten analizar las mejores rutas para electrificar con la tecnología disponible actualmente y las condiciones que se deben cumplir (autonomía mínima, costo de componentes, capacidad de la red eléctrica, etc.) para electrificar más rutas a futuro.

Hoja de Ruta para la Electrificación

La hoja de ruta establece el proceso necesario a seguir para cumplir con las metas de electrificación planteadas por las autoridades nacionales y regionales de Chile y la región de Los Ríos respectivamente. El propósito es generar un gráfico de escala temporal con diferentes capas que incluyan distintos componentes necesarios para un proceso exitoso y está diseñada para la operación del transporte público mayor en la región. Debe comprenderse que la hoja de ruta no es un proceso estático, debe estar estrechamente coordinada con los planes de reemplazo o renovación de flota, además de la evolución de las necesidades operacionales y hacerlas convivir con las soluciones de ingeniería y la oferta del mercado (no solo los fabricantes de buses) para llegar a las metas planteadas. Es fundamental la realización de estudios especializados previos a la realización de proyectos piloto y dar seguimiento bajo un monitoreo continuo de las pruebas y el análisis de resultados para potenciar su escalamiento y reducir las potenciales barreras tecnológicas y operativas del proyecto.

Con base a lo anterior, se desarrollarán dos escenarios de penetración de buses eléctricos, el primero donde se considerará la incorporación mínima anual para poder cumplir las metas y el segundo, un escenario más ambicioso para llegar al 100% de flota eléctrica en menor tiempo.

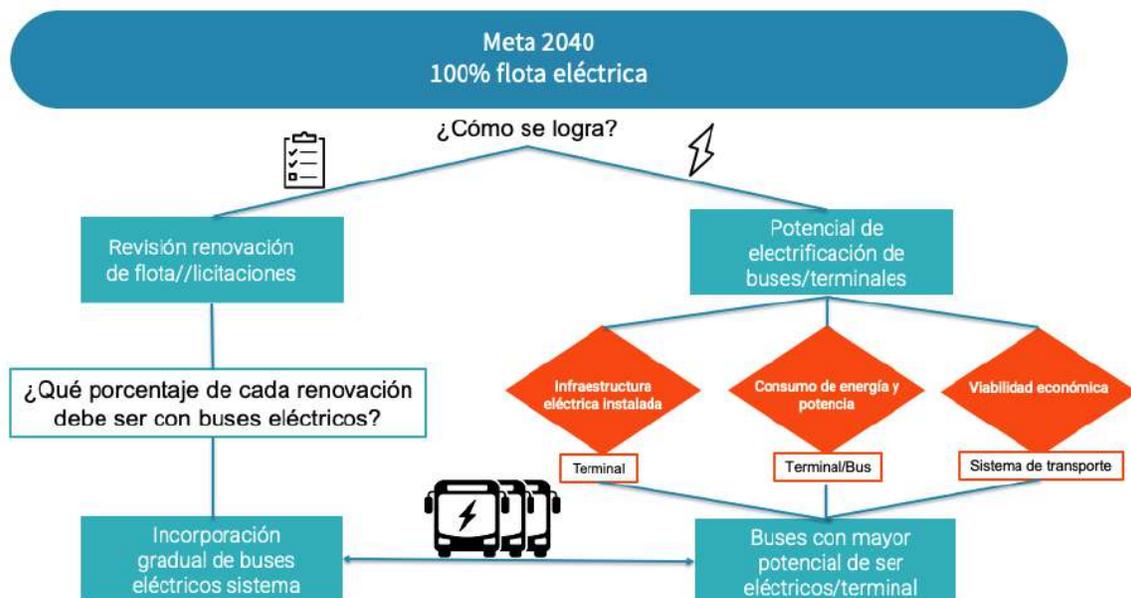


Figura 42: Metodología para el desarrollo de una hoja de ruta. (Fuente: Elaboración propia)

Como se indicó en secciones anteriores, el sistema tiene una operación que se caracteriza por una flota con 326 unidades y 10 rutas. En el siguiente esquema, se presenta una hoja de ruta general para el sistema de transporte público de la región, el cual integra las renovaciones de flota y las acciones relacionadas con la electrificación de esta para llevar a cabo un proceso exitoso. Con relación a la renovación de la flota, para el año 2035 se esperaría el recambio del 100% de los buses que actualmente están operando, asumiendo que no tendría un aumento significativo en cuanto al número de vehículos necesarios para cumplir con los planes. La idea es poder incorporar, dentro de estas renovaciones, tecnologías más limpias y eficientes como la eléctrica, sin afectar económica ni operacionalmente el sistema de transporte.

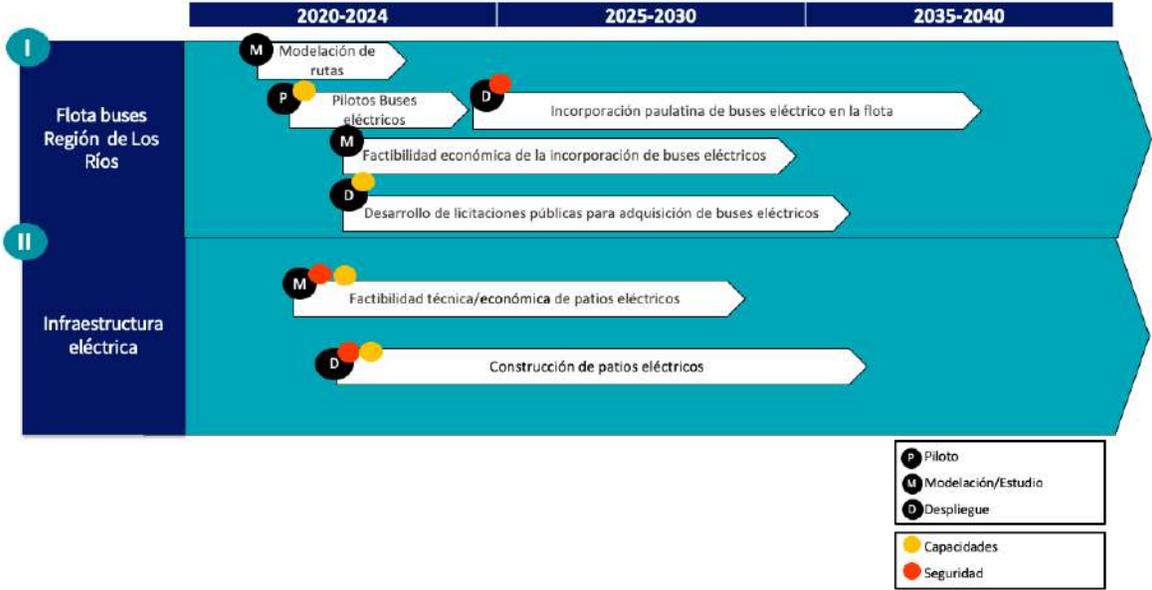


Figura 43. Cronograma de electrificación para la hoja de ruta. (Fuente: Elaboración Propia)

El proceso de adopción tecnológica debe ser progresivo, debiendo crearse condiciones en distintos ámbitos del trabajo. En primer lugar, se requiere un proceso de gestión del cambio, con un compromiso de las autoridades, donde cada uno de los conductores de buses, así como el personal profesional y técnico en de la empresa conozca la tecnología, de forma tal que el proceso de adopción sea un aporte a la excelencia operacional. Además, el proceso requiere desarrollar la infraestructura que permita la operación de los vehículos eléctricos en los terminales de carga.

Mediante el uso de herramientas de modelación se han efectuado proyectos piloto virtuales de buses operando en rutas de la región, que han permitido caracterizar las prestaciones y los beneficios de las distintas opciones de tecnologías eléctricas operando en condiciones locales.

Como primer paso, es necesario establecer un plan de renovación de los buses que actualmente están operando, y tal como se mencionó en las secciones anteriores, en el año 2035 el 100% de las renovaciones deberán ser con tecnología eléctrica.

Dentro de este contexto, el programa “Renueva Tu Micro” cumple con las condiciones a partir del año 2021 para hacer recambio de los vehículos de transporte público circulante. Abriendo la posibilidad de cumplir con flotas completamente eléctricas.

Luego es necesario estimar si existen rutas que puedan ser operadas exitosamente con buses eléctricos para así cumplir con las renovaciones anuales. Para ello se analizarán la mayor parte de las rutas del sistema desde un punto de vista de consumo de energía.

Teniendo la priorización de rutas, acorde principalmente al consumo de energía y otros factores, es importante y determinante la renovación de terminales que existen hoy en la ciudad de Valdivia, ya que la futura demanda de buses eléctricos contempla una correcta implementación de tecnología de carga.

Con respecto a esta mejora en infraestructura de los terminales, se destaca la necesidad de una loza aislante, techos que recubran cables, cargadores y buses. Sistemas de seguridad asociados al peligro existente debido a la potencia eléctrica implementada, al igual que una estructura física que resguarde la sala de electricidad.

Recomendaciones para un primer piloto de bus eléctrico para Valdivia

Como se ha mencionado previamente, existe una larga historia de pilotos con buses eléctricos en Chile desde los primeros buses que llegaron a Santiago en el 2013. Sin embargo, en muchas instancias, estas oportunidades no han generado información de uso público que pueda servir para reducir los riesgos tecnológicos y operacionales entre todos los actores involucrados en el entorno de desarrollo de la electromovilidad. Es por eso, que las actuales recomendaciones buscan delinear claramente los indicadores de desempeño más relevantes a evaluar para generar información que permita reducir las barreras al despliegue de buses eléctricos.

Consideraciones Generales para un piloto

Hay distintas formas de evaluar el desempeño de un bus eléctrico en un determinado recorrido. En muchos casos, se puede realizar un piloto físico con un bus operando en el circuito; sin embargo, muchas veces, es inviable y difícil de realizar para distintas condiciones de operación y en todos los recorridos de un operador o de una ciudad. Una alternativa, es realizar evaluaciones de desempeño de manera virtual.

En informes anteriores se realizó una evaluación virtual que permitió definir parámetros importantes tales como: (i) autonomía mínima necesaria acorde a las exigencias de operación, (ii) número de buses exigida por la operación, (iii) posibles estrategias de carga y (iv) estimaciones de costos y necesidades energéticas requeridas por la flota. Esto también permitió identificar las rutas más atractivas en términos operacionales para ser electrificadas, creando una lista de priorización. Cualquier piloto desarrollado en la ciudad debería servir para validar esta primera

información simulada. El pilotaje de la tecnología permite adecuar las modelaciones anteriores, además de tomar en cuenta otras consideraciones de la operación del bus eléctrico como su comportamiento en la infraestructura vial de cada ciudad. En el pilotaje se determinan los indicadores de interés a monitorear para que sirvan de retroalimentación para el proceso de adquisición y escalamiento de buses eléctricos. Por lo tanto, el piloto tiene como objetivo los siguientes puntos:

- Obtener información real y de mejor calidad de la operación, midiendo directamente parámetros que en la simulación sólo pueden ser estimados.
- Ajustar parámetros claves asociados con la operación, tales como frecuencia de salida, tiempos de carga y número de buses por cargador.
- Prueba de distintos escenarios de operación y distintas estrategias de carga. Revisión y seguimiento de fallas durante la operación del bus y del cargador.
- Validación u optimización del modelo de negocios empleado, proyecciones a partir de los consumos reales y costos asociados.
- Validación de la gobernanza u organización de los actores que participan en la operación.
- Impacto en los incumbentes del sistema de transporte público de Valdivia.

Tanto para el piloto como para el proceso de adquisición de flota, se tendrá que trabajar con los proveedores de tecnología y fabricantes en el mercado local. De la misma forma, para realizar una correcta definición de las estrategias de carga a utilizar en los buses eléctricos adquiridos, los factores como la potencia, pliegos tarifarios y sistema de alimentación eléctrica disponibles en el terminal serán cruciales en la decisión de electrificación y tienen que ser abordados en conjunto con los proveedores de energía locales.

En la medida de lo posible, el piloto debería hacerse con más de una unidad, probando distintas estrategias de carga (en depósito, rápida, etc.) que permitirá validar la disponibilidad real de la flota (incluyendo los tiempos de carga) al igual que la autonomía real en ruta bajo condiciones de operación cotidianas (incluyendo los impactos geográficos, climáticos, cargas de pasajeros y de uso de sistemas HVAC entre otros).

Este proceso representa la primera introducción a una nueva tecnología para los choferes y el personal de mantenimiento de buses. Involucrarles desde el comienzo y tener una retroalimentación fluida forman parte fundamental del proceso de evaluación tecnológica y capacitación del personal. Igualmente, el piloto permite recoger comentarios sobre la tecnología por parte de los usuarios finales como los principales beneficiarios de esta renovación tecnológica.

Otro de los aspectos importantes a definir para optimizar la operación de buses eléctricos son los estándares de carga y protocolos de comunicación que deben cumplir los vehículos y sistemas de carga. Los estándares de carga van más allá del tipo de conector que deben usar los vehículos e incluyen distintos aspectos que facilitan el intercambio de información entre el vehículo, programas de gestión de flota, y la gestión de carga. Para gestionar los sistemas de carga de buses eléctricos hay varios protocolos que facilitan este intercambio de información que apoya la optimización de la carga de los buses eléctricos y puede resultar en ahorros significativos en inversión, asociados a la infraestructura y a la operación diaria de los buses.

Sin embargo, en muchos casos las normativas que regulan este proceso de carga inteligente van más lentas que la tecnología. Se recomienda escoger el estándar de carga de mayor disponibilidad en el correspondiente mercado. De igual forma, el cumplimiento de los protocolos de comunicación abiertos (como el OCPP 1.6) que permiten el monitoreo de flota y cargadores por proveedores tecnológicos independientes. Es recomendable evitar comprometerse con un sólo proveedor tecnológico con protocolos cerrados de comunicación, ya que puede tener importantes repercusiones en las estrategias de mantenimiento, operación y carga que se empleen, limitando la interoperabilidad del sistema de transporte público. Las recomendaciones anteriormente nombradas, son parte de las estrategias que ayudan en la reducción de los costos operacionales.

Diseño del Protocolo de Pruebas y Mediciones que deben realizarse

Es importante crear una base de datos de los indicadores claves de desempeño o KPIs (por su sigla en inglés) para la supervisión del piloto. En general la información debe permitir:

4. Comparar el consumo real con el de otros perfiles o rutas del que no se tiene datos reales de consumo de energía.
5. Estimar si en condiciones más exigente el bus será capaz de responder.
6. Estimar el desgaste que tendrá la batería dada cierta exigencia y periodicidad de carga y descarga.

A continuación, se revisan algunos puntos que deben considerarse en el diseño del protocolo.

Seguimiento de prueba piloto

Cómo ya se mencionó el piloto debe ser capaz de recopilar información que permita resolver barreras actuales y ajustar los valores obtenidos de la simulación. Para la medición de parámetros se recomienda utilizar una unidad lógica que se conecta al bus y que extraiga la mayor cantidad de parámetros posibles. Algunos ejemplos de estas unidades son *Viriciti* o *Tecium*. Además, si no se posee un sistema de recolección, es necesario crear un sistema o servidor para recolectar los datos, por ejemplo: *DataHub*.

Se deben establecer pautas para la recolección de data. Es decir, detallar el procedimiento de las mediciones; días y jornada que operará el piloto, variables que se deben monitorear, definir el término del proceso de mediciones y finalmente cómo se guardarán los datos.

Los componentes que se deben revisar antes y después de una prueba son:

- Arnés eléctrico / sistema de cableado. Roces, terminales, puntos de roce y vibraciones.
- Compartimiento de la batería: Conexiones de terminales, fugas de material, aislación, daños estructurales.
- Electrónica de potencia: Lectura de voltaje – corriente, zumbidos anormales en el arranque o durante la operación, lecturas de estado de salud batería.

Variables necesarias para estimar las prestaciones de los buses

A continuación, se detallan las variables deseables a medir durante el pilotaje, relacionadas a los KPIs definidos en la subsección siguiente. Idealmente se deben incluir todas las variables, sin embargo, la accesibilidad a la data dependerá tanto del fabricante del bus como de la unidad lógica que se esté empleando para recopilar información. Esto se debe tener presente para abarcar el máximo de parámetros que los sistemas de medición y acceso a la data permitan.

1. Mediciones Generales

- Velocidad instantánea en [km/h], obtenida directamente del CAN bus (frecuencia de muestreo 2 [Hz]).
- Estado de carga de las baterías (SOC) [%] (frecuencia de muestreo 1 [Hz]).
- Autonomía restante instantánea [km].
- Geoposicionamiento (GPS): latitud, longitud, altitud (frecuencia de muestreo 0.5 [Hz]).
- Estado del Aire acondicionado (Encendido o Apagado).

2. Mediciones Primarias

- Voltaje [V] y corriente [A] de cada pack de baterías (frecuencia de muestreo 2 [Hz]).
- Voltaje [V] y corriente [A] de los moto-generadores (frecuencia de muestreo 2 [Hz]).
- Voltaje [V] y corriente [A] de los accesorios eléctricos: compresor AA, servodirección, compresor de aire (frecuencia de muestreo 2 [Hz]).
- Temperatura [°C] de cada pack de baterías (frecuencia de muestreo 0.5 [Hz]).
- Estado de carga del pack de baterías (SOC) [%] (frecuencia de muestreo 0.5 [Hz]).

3. Mediciones Secundarias

- Temperatura [°C] del pack de batería celda (frecuencia de muestreo 0.5 [Hz]).
- Voltaje [V] y corriente [A] por celda del pack de batería (frecuencia de muestreo 2 [Hz]).

Indicadores claves de desempeño (KPIs)

Los KPIs son una medida estandarizada cuantificable de evaluar el éxito de una tecnología, política, u otra intervención. Su importancia radica en que permiten:

6. Rastrear la implementación del bus a través del programa piloto
7. Validar las especificaciones de rendimiento
8. Comparar la tecnología de bus eléctrico versus diésel
9. Seguir políticas y operaciones de mantenimiento
10. Implementar un ciclo de retroalimentación con KPI para mejorar el rendimiento.

En general para buses eléctricos, los KPIs importantes son los siguientes:

- Consumo de energía por tipo de bus y ruta [kWh/km]
- Autonomía por tipo de bus y ruta [km]
- Degradación de la batería en el período del piloto [% respecto de la retención de carga original]
- Caracterización de las estrategias de recarga:
 - Número de cargas por día [#]
 - Magnitud de carga promedio [kWh]
 - Disponibilidad de los buses [% de horas del período estudiado]
 - Disponibilidad de los cargadores [% de horas del período estudiado]
 - Costo promedio del kWh por estrategia de carga
- Kilómetros medios entre defectos (MKBD)
- Tiempo estimado o promedio para reparar (MTTR)
- Costo por Kilómetro/milla [\$/km] o [\$/milla].

Consideraciones en la planificación del piloto

Para poder realizar el piloto se tendrán que seguir los protocolos establecidos por el MTT para incorporar un bus de prueba al sistema de transporte público de la ciudad. En este proceso, será necesario definir la estructura del piloto, es decir, la ruta por donde transitará el vehículo, el plan de operación que tendrá que seguir; día y horario de operación, incluyendo los tiempos estimados de demoras, paradas que deberá realizar el vehículo, revisión previa al viaje, revisión posterior al viaje, componentes que deben revisarse, entre otros aspectos. Además de la definición del trazado por donde debe operar el bus, es importante también definir una serie de escenarios, y condiciones de pilotaje, por ejemplo:

- Aire acondicionado (AC) o calefacción (HAVC) encendido.
- Velocidades crucero y máximas.
- Peso que debe transportar, o simulación del peso (generalmente se utilizan bidones de agua para simular el peso de los pasajeros).
- Tiempos de carga y frecuencias de salida.

Otros aspectos que se deben considerar dicen relación con la definición de protocolos para actuar en caso de posibles contingencias, tales como la falla del bus durante la operación, fallas de comunicación en la transmisión de datos y fallas en la batería que puedan significar un riesgo para los tripulantes y para el entorno, así como también para que el piloto cumpla con el objetivo de ser útil para la toma de decisiones y verificación de estudios anteriores.

En este sentido, se debe formalizar preliminarmente las capacitaciones del personal clave involucrado en el piloto, antes y durante la llegada de los primeros buses eléctricos. Esto incluye capacitaciones para choferes (que ya están operando en las líneas), incluir personal que serán operadores de los sistemas de carga y servicios de mantenimiento al igual que el resto de personal que busca incrementar su conocimiento sobre esta nueva tecnología.

Rutas con mayor potencial de electrificación

En el transcurso del proyecto, se realizó una caracterización de la operación en términos cinéticos, tales como aceleraciones, velocidades máximas, mínimas y promedios, distancias recorridas en ruta, fuera de ruta, y tiempos de demora en realizar un recorrido, entre otros aspectos. Lo anterior permitió la creación de perfiles de conducción, el diseño de buses virtuales y la modelación de los perfiles bajo 3 condiciones; 30% HVAC ON, 100% HVAC ON y 100% HVAC OFF.

De las modelaciones se obtuvieron los consumos promedios, autonomía por episodio de carga y el número de vueltas/recorridos que pueda realizar el bus bajo una sola carga. En lo que respecta a la exigencia de la ruta, en términos de pendientes y cinética, se puede concluir que los buses pueden realizar los recorridos, sin problemas. Sin embargo, desde el punto de vista operacional, es necesario recabar más información respecto de las frecuencias de salida y demanda de servicios por parte de los pasajeros. De todas formas, dada una frecuencia de salida, se calcularon el número de vueltas posibles para cada ruta.

En lo que respecta a las condiciones de modelación, el uso de la calefacción (encendido o apagado) representan una diferencia del 16.8 % mientras que la diferencia entre las condiciones de carga (30 y 100% de la capacidad del bus), un 17.6%. Es decir, en el caso de este estudio, el cambio en la carga resulta ligeramente más significativo que un cambio en la calefacción.

A partir de los parámetros calculados y medidos (consumos de energía, autonomía, número de vueltas, distancia recorrida en una jornada de operación, entre otros.), se calculó un puntaje para cada ruta que permitió ordenarlas y establecer las rutas con mayor potencialidad de ser electrificadas a partir de la información que se recopiló. El análisis económico por su parte, apporto información respecto a los costos totales para una implementación que no considera ninguna estrategia de financiamiento ni de cooperación para reducir costos. Los resultados arrojaron que las líneas 22 y 1 son atractivas tanto operacionalmente como económicamente

para implementar en primera instancia tecnologías de buses eléctricos. Por su parte la ruta 5 es atractiva económicamente, pero no lo es en términos técnicos – operacionales, en el lado opuesto se encuentra la ruta 20V, que es atractiva técnicamente pero no económicamente. A continuación, se detallan la tabla de priorización de rutas, en términos operativos,

Tabla 46. Puntajes obtenidos para cada ruta. Más detalle informe 4. (Fuente: Elaboración Propia)

Índice	Ruta	ix_W	ix_S	ix_D	ix_P	score
1	20V	1	2	2	9	20.9
2	22	4	3	1	8	17.3
3	11	8	1	5	3	15.8
4	1	7	5	4	2	14.5
5	2	2	6	6	4	14.5
6	20	3	10	7	1	11.4
7	3	6	7	3	5	11.4
8	5	5	4	9	10	6.6
9	4	9	9	8	7	4.4
10	9	10	8	10	6	4.1

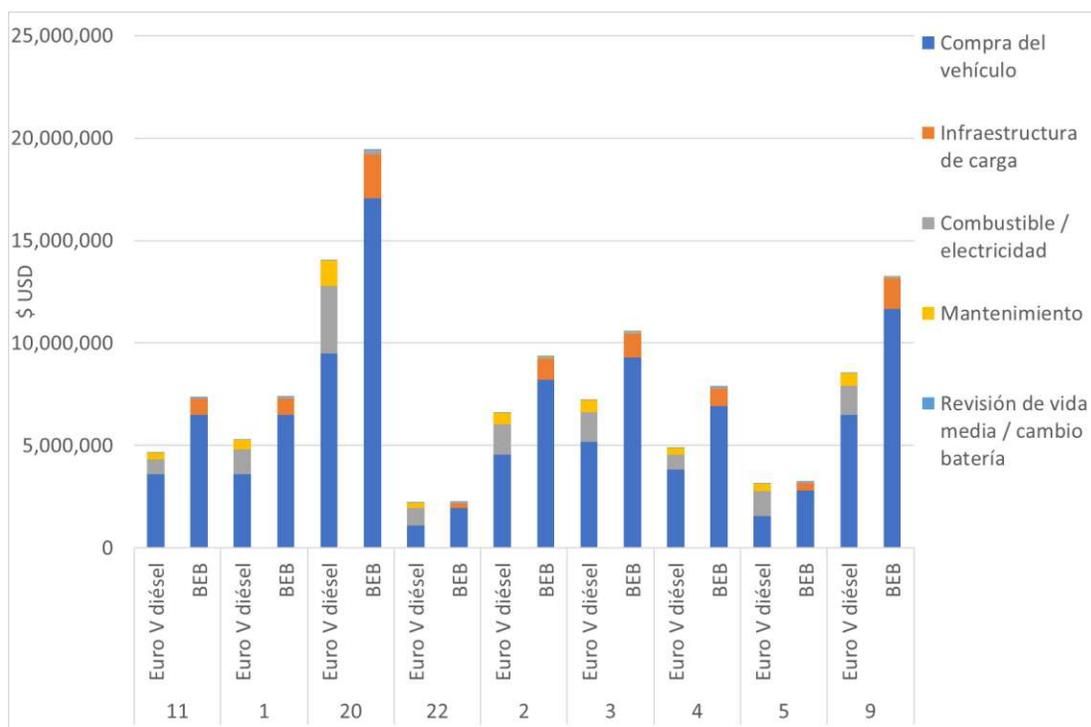


Figura 44. Valores de TCO para las distintas líneas. (Fuente: Elaboración propia)

Se debe tener en cuenta que el número de buses considerado por cada ruta puede estar sobredimensionado. A pesar de esto, es posible con estos datos establecer preliminarmente que

los buses de la línea 22, serían aquellos más atractivos tanto operacionalmente como económicamente para realizar un piloto de prueba y eventualmente iniciar un proceso de electrificación, que debe considerar todos los demás aspectos mencionados anteriormente, en conjunto con los operadores y otras identidades interesadas.

La ruta pertenece a la empresa Transportes Las Ánimas S. A. C. Comienza en el terminal L22 ubicado en el sector El Arenal, km.2 y finaliza su recorrido en el centro de Valdivia. Según la información encontrada posee 9 buses y la ruta tiene una distancia total (ida y vuelta) de 21.1 km.

La línea 20, es otra línea que es atractiva por su operación, en particular el trazado 20V (ver tabla 2), sin embargo, económicamente, debido al elevado número de buses con los que cuenta eleva la inversión inicial, y los ahorros en términos de OPEX, no logran compensar la inversión⁵⁰. En este sentido, sin considerar posibles reajustes en cuanto al dimensionamiento de la flota, podría establecerse un programa gradual de transformación a lo largo de los años, lo que permitiría aumentar progresivamente la flota que es eléctrica. De todas formas, la ruta es atractiva para poder realizar un piloto real de buses eléctricos. Esta ruta es además atractiva, ya que los operadores también han mostrado interés en incluir tecnologías eléctricas en su operación, lo que reduce de manera importante el riesgo asociado a lo político.

Otras rutas atractivas en términos operacionales, pero no económicamente, corresponden a las líneas 11 y 1. Estas habría que realizar una segunda revisión en cuanto al dimensionado de sus flotas, o en su defecto, establecer estrategias que permitan un mejor OPEX sobre el CAPEX.

⁵⁰ En el caso de esta línea el número de buses no hace distinción entre ambas líneas. El total de número de buses entregada en las bases de datos corresponde al total de los dos servicios.

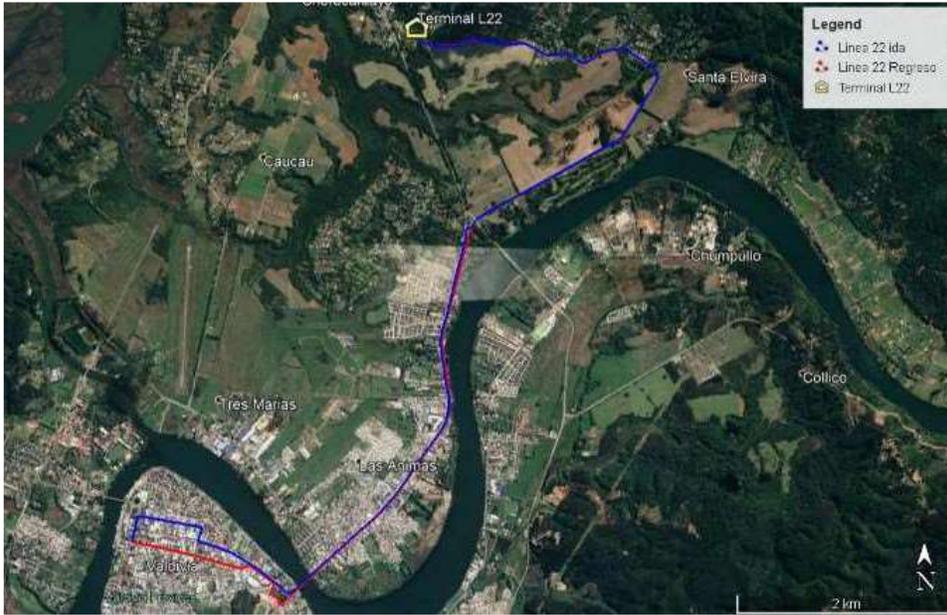


Figura 45. Recorrido de la línea 22.



Figura 46. Terminal y Paradero de la línea 22.

Tal como se mencionó, el piloto debe considerar desafíos importantes en términos económicos y de capacitaciones y es vital la constatación de contingencias relacionadas con las fallas en la operación. Se deben considerar mejoramientos tanto en paraderos, como infraestructurales en los terminales.

Conferencias y lanzamiento público de estrategia de electromovilidad en Valdivia

Reuniones con actores claves y espacios de intercambio

A través de todo el periodo de desarrollo de la estrategia de electromovilidad, se generaron instancias virtuales de reunir a diversos actores estratégicos en lo que respecta al futuro de la electrificación en la Región de los Ríos. Representando el sector público y privado en la implementación de la electromovilidad, se encuentran reuniones complementarias con SAESA, Sociedad Austral de Electricidad, empresa generación, transmisión y distribución de electricidad. Se contó con la presencia virtual de Mauricio Gormaz Barrientos y Matías Vogel Alonso.

Por otro lado, se realizaron reuniones con COPEC Voltex, actor importante en la infraestructura de carga eléctrica para vehículos eléctricos, con experiencia en el transporte público y en espacios públicos. Dentro de las reuniones se contó con la presencia de Diego Soto Guerra, Pablo Ugarte Hernández, Andrea Castro y Francisco Larrondo Danus.

Asimismo, Enel X, actor con importancia y experiencia que ofrece productos y servicios destinados a la transformación de energía a nivel urbano e industrial, formó parte de estas instancias de reunión, en las cuales Carmen Gloria Ramos Illanes, Magdalena Riesco Arredondo, Magdalena Sofía Camino Migone, María Verónica Vasseur Fuentes, Claudia Andrea Peña Ortiz y Sergio Carvajal Cisternas.

Reunión con actores Regionales

Fecha: 28 de julio de 2022



Figura 47: Reunión estrategia de movilidad transporte público para Valdivia

La reunión con actores regionales con relación al avance del proyecto fue realizada en el marco de presentar a la mesa directiva del proyecto las modelaciones de autonomía realizadas de manera virtual al igual que los alcances del proyecto, la metodología a realizar para el proyecto. La mesa directiva, contó con la participación de Seremis del MTT y MINERGIYA al igual que SECPLAN de la Municipalidad. En este contexto, los resultados preliminares de la modelación y los pasos a seguir marcaron el inicio de las relaciones con los diversos actores importantes para la futura implementación.

A nivel social es importante la colaboración entre todas las autoridades, dando hincapié en trabajar en conjunto con los operadores, en el electroterminal privado-público, que considere el transporte fluvial que dentro de las consideraciones de costo para que los operadores puedan acceder al subsidio para el cambio de buses.

Reunión con ENEL X

Fecha: 05 de agosto de 2022



Figura 48: Reunión distribuidores de Energía Electromovilidad (ENEL X)

En el marco de la reunión con ENEL X, distribuidores de energía y actor importante para llevar a cabo la implementación, se presentaron los principales resultados del proyecto, incluyendo modelaciones de transporte público con autonomías y consumo de energía. Se generó un intercambio de preguntas, estableciendo así un intercambio de información y red de contacto, para contar con Enel X en futuras iniciativas de electromovilidad en la ciudad. En particular se exploró el potencial de desarrollar un primer proyecto piloto de electromovilidad con buses, incluyendo el desarrollo de un electroterminal público-privado en conjunto con distintos aportes del Gobierno Regional de Los Ríos. Asimismo, se confirmó la participación de representantes de Enel X en la Conferencia de presentación de resultados finales y evento de cierre durante el mes de noviembre en Valdivia.

Fecha: 02 de noviembre de 2022



Figura 49: Reunión presencial distribuidores de Energía Electromovilidad (ENEL X)

En el marco del evento de cierre y muestra de resultados del proyecto, se realizó una reunión presencial donde se revisó el programa del evento y los pasos a dar para establecer una mesa de trabajo enfocada en estructurar un proyecto piloto de electromovilidad en Valdivia. Es con esto como punto principal que, de igual manera, se establecieron los lineamientos iniciales y necesarios para abordar un proyecto conjunto, ratificando así, el interés por realizar un primer piloto de transporte público eléctrico que a su vez pueda fomentar distintas soluciones de electromovilidad para la ciudad.

Por otro lado, se exploró el interés de apoyar en los proyectos de transporte fluvial solar y la integración de estos a las otras iniciativas de electromovilidad en Valdivia.

Reunión con SAESA INNOVA

Fecha: 05 de agosto de 2022

Otro actor importante presente en las reuniones estratégicas fue SAESA. En esta reunión virtual se presentaron los principales resultados del proyecto, incluyendo modelaciones de transporte público con autonomías y consumo de energía. Estableciendo el intercambio y red de contacto, para contar con la participación de SAESA Innova, o sus representantes, en futuras iniciativas de electromovilidad en la ciudad, tal como en la conferencia de presentación de resultados finales y evento de cierre durante el mes de noviembre en Valdivia.

En esta reunión en particular se exploró el potencial de desarrollar un primer proyecto piloto de electromovilidad con buses, incluyendo el desarrollo de un electroterminal público-privado en conjunto con distintos aportes del Gobierno Regional de Los Ríos.



Figura 50: Reunión Distribución de Energía Electromovilidad (SAESA)

Reunión con COPEC Voltex

Fecha: 12 de agosto de 2022

Se presentaron los principales resultados del proyecto, incluyendo modelaciones de transporte público con autonomías y consumo de energía. Generando un intercambio para poder contar con Copec Voltex en futuras iniciativas de electromovilidad en la ciudad, confirmando la participación de representantes de Copec Voltex en la conferencia y evento de cierre de presentación final de los resultados durante el mes de noviembre en Valdivia. Sin embargo, en la semana previa a la conferencia el grupo decidió no asistir al evento.

En particular en esta reunión se exploró el potencial de desarrollar un primer proyecto piloto de electromovilidad con buses, incluyendo el desarrollo de un electroterminal público-privado en conjunto con distintos aportes del Gobierno Regional de Los Ríos.

Reunión con DTPR

Fecha: 30 de agosto de 2022

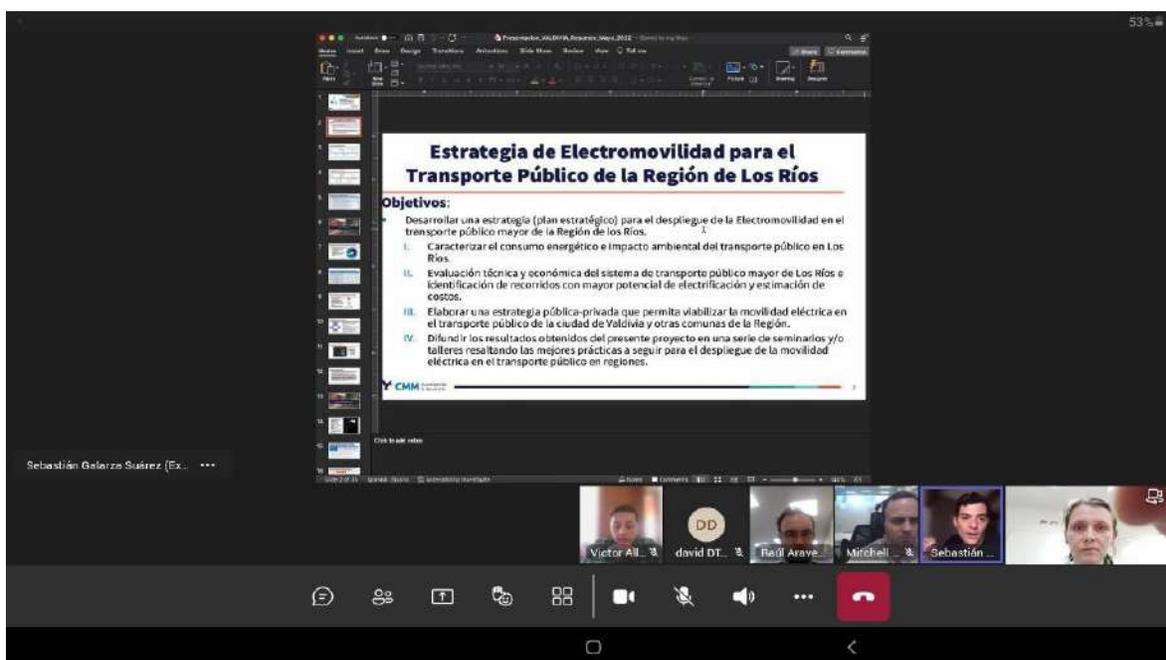


Figura 51: Reunión con Entidades Gubernamentales en relación a la Estrategia de Electromovilidad.

En la reunión virtual con DTPR, se presentaron los principales resultados del proyecto, incluyendo modelaciones de transporte público con autonomías y consumo de energía realizadas. En ese mismo contexto, se revisaron las metodologías usadas para determinar el consumo de energía, autonomía y especificaciones técnicas definidas para buses y cargadores eléctricos.

Con respecto al conteo de pasajeros utilizado en las rutas analizadas para este proyecto, de parte de DTPR se compartieron datos con respecto a conteo de pasajeros en las rutas analizadas en la ciudad.

A nivel de gobernanza y políticas públicas, se exploraron las distintas iniciativas del gobierno en promoción de electromovilidad en el transporte público en regiones de Chile, estableciendo un intercambio para poder contar con el DTPR en futuras iniciativas de electromovilidad en la ciudad. Asimismo, y dentro de las relaciones de desarrollo, se exploró el potencial de desarrollar un primer proyecto piloto de buses eléctricos, incluyendo en este, el desarrollo de un electroterminal público-privado en conjunto con distintos aportes del Gobierno Regional de Los Ríos.

Al igual que en reuniones anteriores con otros actores, se confirmó la participación de representantes de DTPR en la Conferencia de presentación de resultados durante el mes de noviembre en Valdivia.

Reunión con Operadores



Figura 52: Reunión con operadores en el marco de la Estrategia de Electromovilidad.



Figura 53: Reunión con operadores en el marco de la Estrategia de Electromovilidad.

En la reunión presencial realizada con los operadores de buses de la región de los Ríos, se presentaron los principales resultados del proyecto, incluyendo modelaciones de transporte público con autonomías y consumo de energía de los buses. Los costos relacionados a consumo de diésel y emisiones contaminantes provenientes del sector transporte. Revisando las metodologías usadas para determinar el consumo de energía, autonomía y especificaciones técnicas definidas para buses y cargadores eléctricos. Validando cuales son las principales brechas y retos asociados con la introducción de buses eléctricos en el transporte público de la Región. Entre estos, se resaltó la falta de financiamiento, pero también la falta de continuidad entre gobiernos con iniciativas asociadas a promover la movilidad eléctrica en la región.

Se generaron lazos de comunicación y trabajo, estableciendo redes de comunicación y contacto para poder contar con los operadores en futuras iniciativas de electromovilidad en la ciudad en particular en entrenamientos e instancias de intercambio tanto con el sector público como privado. En particular se exploró el potencial de desarrollar un primer proyecto piloto de electromovilidad con buses, incluyendo el desarrollo de un electroterminal público-privado en conjunto con distintos aportes del Gobierno Regional de Los Ríos. Igualmente, se extendió una invitación para la participación de representantes de operadores en la conferencia final de presentación de resultados.

EVENTO DE CIERRE

El evento de cierre que contempló la presentación de los resultados obtenidos en el proyecto de estrategia de electrificación. El evento se llevó a cabo el día 03 de noviembre en la carpa CECs (Centro de Estudios Científicos) ubicada en la ciudad de Valdivia, región de los Ríos. Contando con una participación de 50 personas, entre autoridades gubernamentales a nivel municipal y regional, junto con diversos expositores expertos en el área de la electromovilidad y su implementación. El evento contó con una agenda mostrada en la siguiente tabla.

Tabla 47 Agenda Evento de cierre Estrategia de Electromovilidad en la Región de los Ríos

Hora	Título de Presentación	Expositor
10:00	Palabras de Bienvenida	Gobernador de Los Ríos
10:30		Silvia Soto, CRDP Los Ríos
10:30	Electromovilidad en América Latina: Lecciones aprendidas y desafíos futuros	Carlos Bueno, ICCT
10:50		
10:50 11:10	El futuro de la Electromovilidad en Regiones	Director DTPR, MTT.

11:10	Coffee break	
11:40		
11:40	Panel: Electromovilidad en Los Ríos	Seremi MTT, Seremi Energía, Seremi Medio Ambiente, Municipalidad de Valdivia.
12:00		
12:00	Panel: El rol de las empresas de electricidad en la electromovilidad en Chile	COPEC VOLTEX, SAESA INNOVA,
12:20		ENEL X
12:20	Estrategia de Electromovilidad para el Transporte Público Mayor de los Ríos	Centro Mario Molina Chile
12:40		
12:40	Palabras de Cierre	Silvia Soto, gerenta CRDP Los Ríos
13:00		

En el evento se realizaron paneles y exposiciones de parte de los diversos actores importantes y estratégicos. De igual manera, se contó con la presencia de representantes internacionales del mundo de la investigación y desarrollo de la electromovilidad. Carlos Bueno perteneciente al ICCT, Consejo Internacional de Transporte Limpio, organización independiente sin fines de lucro que proporcionó apoyo en el análisis técnico y científico al programa, presentó las lecciones y desafíos aprendidos en la implementación de la electromovilidad en América Latina.

Electromovilidad en América Latina: Lecciones aprendidas y desafíos futuros

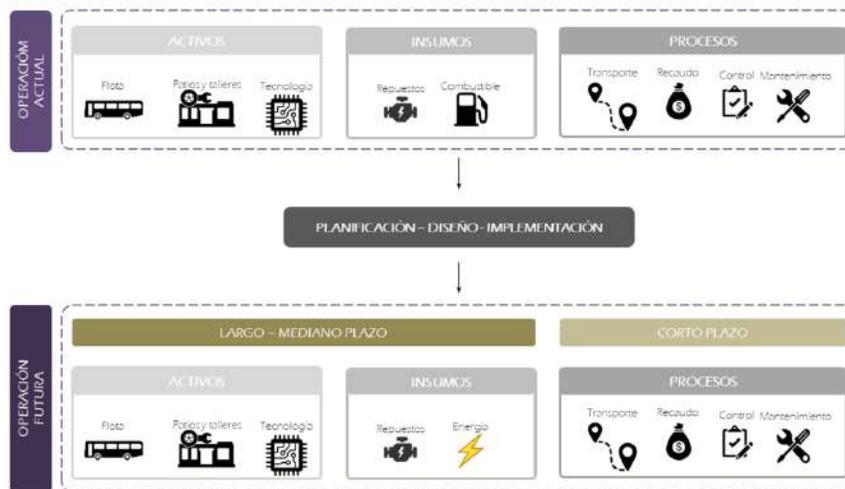
Noviembre 3, 2022

Carlos Bueno, PhD
Clean Transportation Researcher



Figura 54: Presentación de la electromovilidad en América Latina con respecto a las lecciones aprendidas y desafíos futuros.

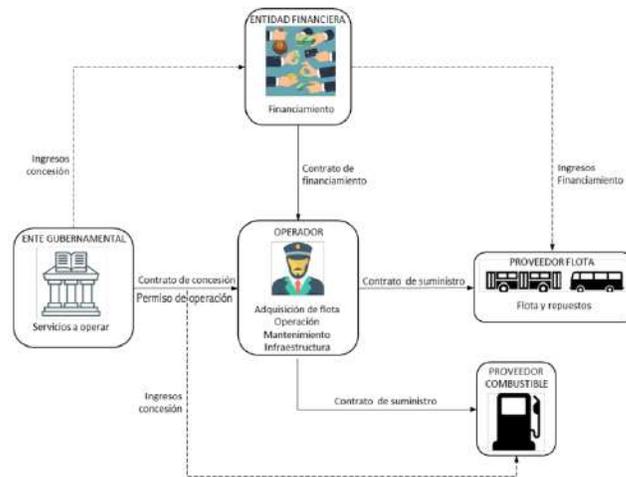
Cambios estructurales



2

Figura 55: Cambios estructurales en presentación la electromovilidad en América Latina con respecto a las lecciones aprendidas y desafíos futuros.

Cómo lo abordo desde mi modelo de negocio?



7

Figura 56: Caracterización del modelo de negocio en presentación la electromovilidad en América Latina con respecto a las lecciones aprendidas y desafíos futuros.

Lecciones aprendidas y desafíos

- La electromovilidad abre las puertas a cambios estructurales en los sistemas de transporte público y se puede convertir en una oportunidad para la transformación: tecnológica, empresarial, nivel de servicio, equidad de género.
- Es clave la interacción fluida entre la industria transportadora y la autoridad.
- El diseño de detalle desde el inicio de los proyectos es fundamental y debe involucrar a los operadores para detectar los cambios operacionales y organizacionales que hagan sentido y que permitan minimizar el CAPEX y OPEX de los proyectos.
- La implementación de pilotos permiten analizar el impacto de cambios tecnológicos a costos razonables, explorar sinergias entre actores y romper paradigmas operacionales adoptados por las entidades públicas y privadas.
- Las autoridades deben identificar las empresas líderes y apoyarlas para que se detonen proyectos exitosos que produzcan los cambios requeridos por la industria transportadora.
- La implementación de proyectos de electromovilidad se puede convertir en laboratorios sociales para entender las reacciones y preferencias de los usuarios, permitiendo encausar los esfuerzos operacionales y económicos hacia los elementos más valorados por ellos.

13

Figura 57: Lecciones y desafíos en presentación la electromovilidad en América Latina con respecto a las lecciones aprendidas y desafíos futuros.

Lecciones aprendidas y desafíos

- Durante los procesos llevados a cabo se observa la consolidación de sinergias entre actores de la industria que permitieron desagregar responsabilidades de acuerdo a sus niveles de especialización y generar nuevos esquemas de negocio en el sistema.
- Es necesario analizar las barreras específicas que pueden presentar los actores y diseñar a la medida los mecanismos de mitigación e interacción más adecuados.
- En algunos proyectos que consideren vehículos de gran tamaño, de uso intensivo y continuo se pueden presentar desafíos tecnológicos desde el punto de vista de disponibilidad vehicular y programación de flota
- Es necesario generar mecanismos financieros que permitan la implementación de flotas en el corto plazo y que mitiguen el impacto producido por la pandemia.
- En esquemas empresariales atomizados la centralización de los procesos de carga puede ser compleja desde el punto de vista operacional y administrativo.

14

Figura 58: Lecciones y desafíos en presentación la electromovilidad en América Latina con respecto a las lecciones aprendidas y desafíos futuros.

Otra exposición importante estuvo dada por Rocío Pinto Ruiz, Gestora Macrozona Urbana Centro Sur de la Unidad de Desarrollo Urbano dentro de la División de Transporte Público Regional (DTPR). El tema principal de la participación de la subsecretaría de transporte fue la importancia del futuro de la Electromovilidad en Regiones y su proyección en un mediano-largo plazo dados los principales proyectos nacionales en torno a la descarbonización al año 2050.



Figura 59: Presentación Electromovilidad en Regiones. DTPR



Figura 60: Presentación Electromovilidad en Regiones. DTPR

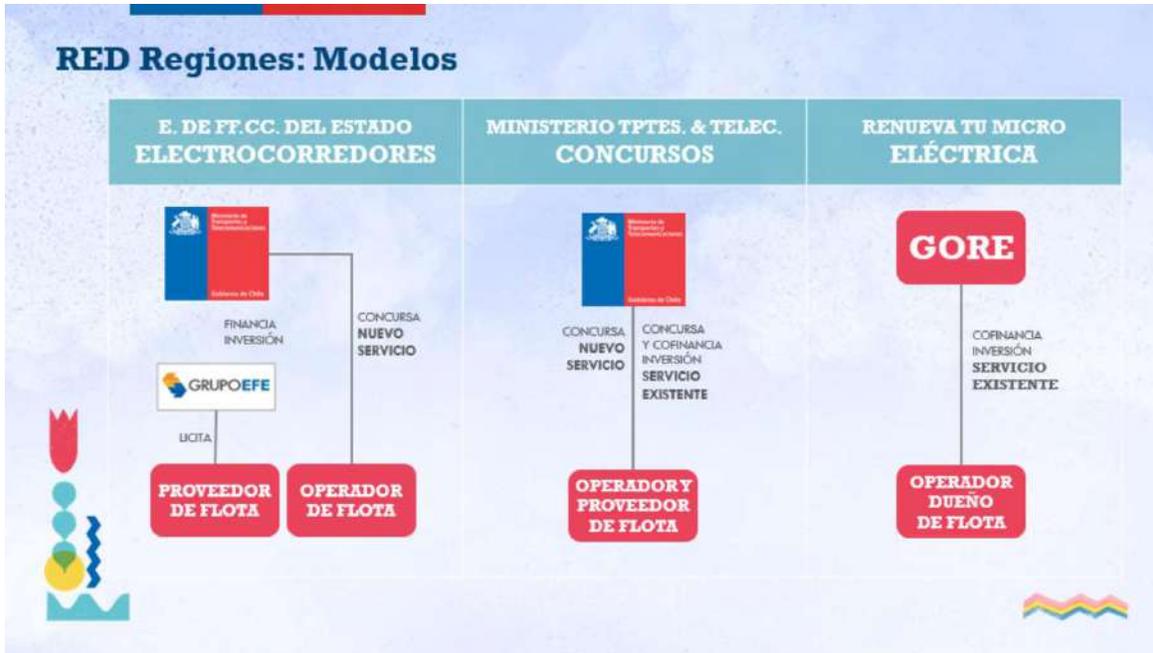


Figura 61: Presentación Electromovilidad en Regiones. DTPR.

Requerimientos Técnicos

Características Centro de Carga

- Sistema de Gestión de Carga
- Opción de disponibilizar Terreno
- Cargadores: Según flota
- Potencia Mínima Requerida: Según Flota
- Exigencias de Diseño

Características Buses

- Equipamiento a bordo:
 - Sistema GPS, AVL online
 - Recaudo Electrónico
 - Contadores de pasajeros
- Sistema Gestión de Baterías
- Diseño Estándar RED
- Accesibilidad Universal
- Aire Acondicionado
- Cargadores USB
- WIFI a Bordo
- Autonomía Mínima: 170 km
- Capacidad Mínima: 40 plazas y 21 asientos






Figura 62: Presentación Electromovilidad en Regiones. DTPR.

El evento se llevó a cabo de manera exitosa contando con la participación de diversos actores importantes en la implementación de recambio tecnológico a eléctrica en la Región de los Ríos.



Figura 63: Presentación agenda Evento de Cierre Estrategia de Electromovilidad en la Región de los Ríos realizado en la carpa CECs, Valdivia.



Figura 64: Presentación Estrategia de Electromovilidad en Evento de Cierre.

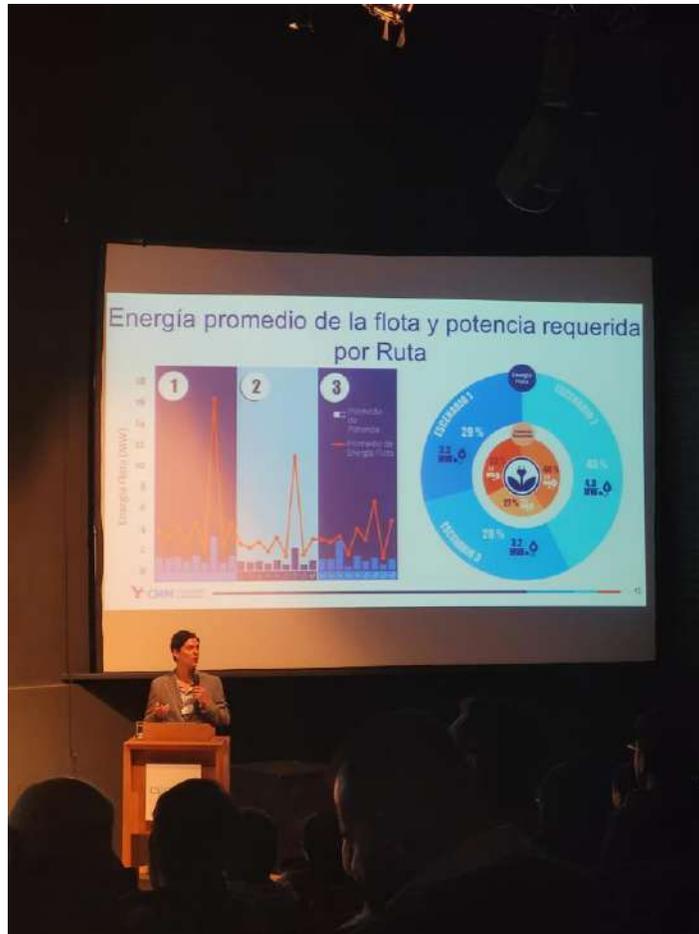


Figura 65: Presentación Estrategia de Electromovilidad en Evento de Cierre.



Figura 66: Actores importantes presentes en el Evento de Cierre de la Estrategia de Electromovilidad.



Figura 67: Panel: Electromovilidad en Los Ríos.



Figura 68: Panel: Electromovilidad en Los Ríos



Figura 69: Panel: Electromovilidad en Los Ríos



Figura 70: Panel: El rol de las empresas de electricidad en la electromovilidad en Chile.



Figura 71: Panel: El rol de las empresas de electricidad en la electromovilidad en Chile.

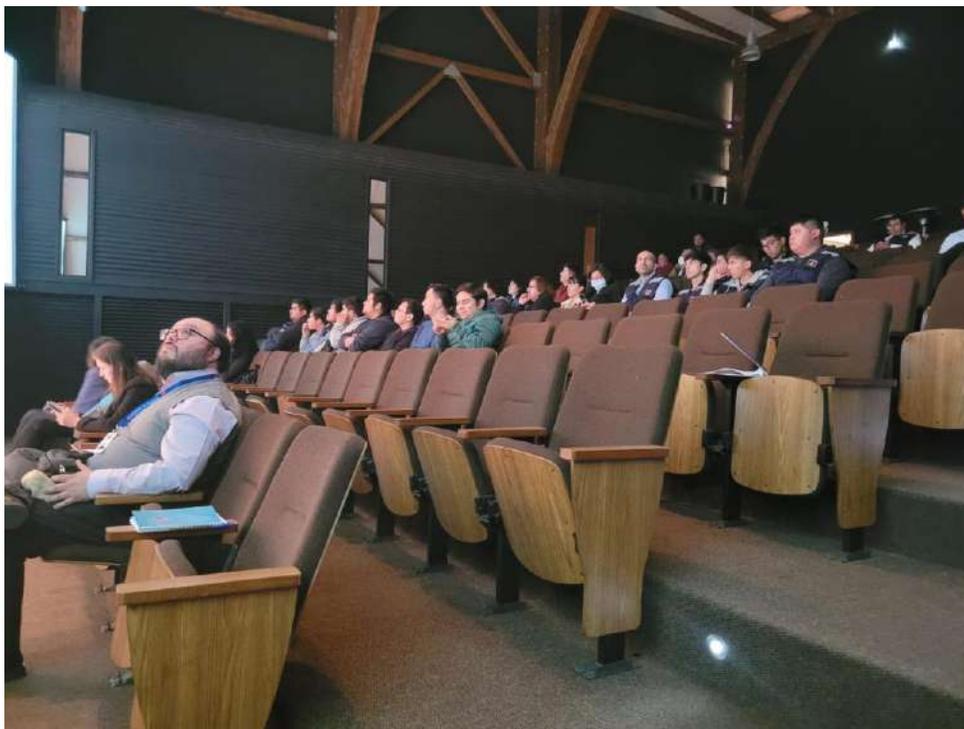


Figura 72: Público presente en el Evento de Cierre.



Figura 73: Presentación sobre el futuro de la Electromovilidad en Regiones

Acciones para la implementación de la estrategia de electromovilidad para transporte público mayor de Los Ríos

A raíz de los análisis realizados durante el transcurso de la consultoría y presentados en el actual informe, se desarrollaron una serie de vínculos entre el sector público y privado que logro definir un cierto número de acciones para dar continuidad a la implementación de la estrategia de electromovilidad para el transporte público mayor de la región.

Entre estos se estableció continuar trabajando en el fortalecimiento de vínculos con el sector privado y sector público para acelerar el despliegue de la electromovilidad en todos sus modos. Es decir, potenciar la electromovilidad en todas sus aristas, no solo en el transporte público, sino también en flotas privadas, para generar la demanda necesaria para hacer viables proyectos a mayor escala y comenzar a cumplir con las metas establecidas a nivel nacional. Esto incluye proyectos que generan demanda para el uso de electrolinerías de uso mixto por ejemplo que pueden aportar a diseños más flexibles que permitan la instalación de centros de carga más centrales dentro de la urbe y de uso mixto para distintos tipos de vehículos eléctricos.

Igualmente, para lograr implementar un escalamiento paulatino de la electromovilidad en la región, es fundamental fortalecer el capital humano, en particular con operadores, el sector técnico-académico regional al igual que con todo el ecosistema de servicios para buses y buses eléctricos, incluyendo proveedores de tecnología de carga y talleres de reparación de autobuses. Esto es necesario para poder reducir las brechas técnicas y operacionales previamente identificadas al igual que aumentar las capacidades y oportunidades laborales en este nuevo segmento de servicios. Es necesario capacitar al personal adecuado en el uso de las nuevas tecnologías ya que requiere un cambio de paradigma tanto en su operación como en las relaciones con nuevos actores en el rubro. También, se tienen que generar las condiciones para que se pueda hacer el mantenimiento y tener stock de repuestos para los buses en circulación al igual que el personal capacitado para cumplir con las exigencias de las garantías.

El Gobierno Regional de los Ríos (GORE) al igual que el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) a través del Directorio de Transporte Público Regional (DTPR) se han comprometido con la promoción de la electromovilidad en la Región de los Ríos. Entre las iniciativas más recientemente aprobadas por parte de GORE se incluye la expansión del subsidio entregado para la renovación de flota eléctrica en la región. Esto consiste en un fondo adicional de hasta mil millones de pesos para suplir el diferencial de inversión entre un bus eléctrico y uno de diésel. Expandir el programa renueva tu micro regional con fondos adicionales para reducir la brecha de inversión y apoyar el despliegue de un transporte público sin emisiones en el contexto actual de pandemia es indispensable para poder iniciar el proceso de electrificación del



transporte público. Estos aportes adicionales para financiar buses eléctricos buscan romper el piso para un escalamiento en el futuro cercano, que podrá ser facilitado por las experiencias de estos primeros vehículos en operación.

Finalmente, una de las conclusiones principales sobre las brechas para el despliegue de buses eléctricos es la falta de infraestructura adecuada de carga y obras civiles dentro de los actuales terminales de operación del transporte público. Es una de las principales brechas para poder acceder a financiamiento que busca renovar la flota de transporte público a eléctrico pero que no incluye financiamiento para infraestructura de carga o mejoras en los terminales. Es por esto, que se ha buscado desarrollar el primer proyecto de electroterminal municipal de uso mixto en el país. El terminal estará orientado a facilitar la operación de una primera flota de buses eléctricos en la ciudad, pero también con un enfoque multi-modo para transporte público menor al igual que flotas de uso privado. Una de las piedras de tope que tienen los operadores al comprar vehículos eléctricos es la falta de infraestructura adecuada para realizar sus cargas. En este junto con la Corporación de Desarrollo Regional y distintos actores privados (incluyendo empresas de energía), se desarrollará un modelo innovador y único en el país que busque construir un electroterminal de uso mixto de manera público-privada para resolver esta brecha y permitir el escalamiento de la flota de vehículos eléctricos en el corto plazo.

Conclusiones

La presente estrategia presenta los resultados de un trabajo de más de dos años para realizar un análisis profundo sobre el potencial de electrificar los principales servicios de transporte público mayor urbano de la Región de los Ríos. El estudio presenta las principales conclusiones derivadas de un análisis técnico-económico que permite valorizar la capacidad de introducir buses eléctricos y su infraestructura de carga en los servicios de Valdivia. Esto permite a su vez delinear ciertas acciones de notoriedad como fruto de la estrategia que permitirán integrar los primeros buses eléctricos en operación a la ciudad y sentar las bases para el escalamiento de la tecnología.

La estrategia incluía desde un inicio los siguientes objetivos:

- Desarrollar una estrategia (plan estratégico) para el despliegue de la Electromovilidad en el transporte público mayor de la Región de los Ríos.
- Caracterizar el consumo energético e impacto ambiental del transporte público en Los Ríos.
- Evaluar técnica y económica del sistema de transporte público mayor de Los Ríos e identificación de recorridos con mayor potencial de electrificación y estimación de costos.
- Elaborar una estrategia pública-privada que permita viabilizar la movilidad eléctrica en el transporte público de la ciudad de Valdivia y otras comunas de la Región.
- Difundir los resultados obtenidos del presente proyecto en una serie de seminarios y/o talleres resaltando las mejores prácticas a seguir para el despliegue de la movilidad eléctrica en el transporte público en regiones.

En este sentido, se realizó una serie de actividades de recopilación de antecedentes, para caracterizar la flota, la organización del transporte público en la ciudad de Valdivia, la identificación de las principales fuentes de financiamiento, los aspectos normativos relevantes a la operación de buses e instalación de sistemas de carga, y se identifican barreras y riesgos asociados a la ciudad que dificultarían la introducción de esta tecnología. Posteriormente se realizó una caracterización de las tecnologías “cero emisión” disponibles, la identificación y diseño de los recorridos con mayor potencial de éxito para el despliegue de la tecnología y la definición y gestión de soluciones que permitan resolver los problemas de financiamiento a mediano plazo para el despliegue comercial de la electromovilidad en el transporte público de la Región de los Ríos. Esto permitió determinar los rendimientos energéticos, con lo que fue posible definir la potencialidad de las rutas de ser electrificadas a través de algunos indicadores claves de desempeño (KPIs por sus siglas en inglés), tales como la autonomía del bus eléctrico, la distancia de operación para cada ruta, el número de vueltas que el bus puede dar, dado un recorrido y la cantidad de pasajeros que utilizó determinada ruta. En este punto se realiza una serie de recomendaciones para un piloto real con un bus eléctrico.

Por otra parte, la incorporación de tecnología eléctrica a la flota de buses plantea retos importantes desde la planificación y operación de los vehículos teniendo en cuenta variables como la autonomía de los buses, el tiempo de carga, el tipo de estrategia de carga empleada, entre otros. Es por lo anterior que se realizó una revisión de las especificaciones técnicas de estos vehículos y sobre los estándares actuales que se exigen tanto a buses eléctricos como electroterminales. De manera similar se establecieron lineamientos para el desarrollo de pilotos de electromovilidad incluyendo el seguimiento de indicadores de desempeño para que los resultados de esta experiencia sirvan para validar análisis previos y reducir el riesgo tecnológico y operacional de esta tecnología. Esto incluyó un enfoque en capacitar a personal clave de servicio y operación de buses y cargadores.

También se hizo un análisis detallado sobre las principales barreras para la electrificación del transporte público de la ciudad de Valdivia. Las barreras se pueden dividir en tres grandes categorías: Financieras, Políticas o Normativas y Tecnológicas, la siguiente tabla las resume. Según la información encontrada, se clasificó en riesgo Alto, Medio y Bajo. En caso que se requiera más información, se rellenó con “RMI” y si la barrera no aplica al caso de Valdivia, se colocó “NA”.

Para cada barrera, se verificó la información que se obtuvo localmente y se comparó respecto a otras experiencias internacionales, considerando el impacto que ha tenido esta barrera en la electrificación de la flota. La clasificación se otorga entonces, de la siguiente forma:

- **Baja:** Si existen avances o antecedentes que disminuyan totalmente esta barrera, o no existen políticas o condiciones que permitan el aumento de esta.
- **Media:** Si existe un avance (ya sea a través de instituciones, políticas/leyes) en la disminución de esta barrera.
- **Alta:** Si no existe ningún avance, no se encontró antecedentes que apunten a la disminución de esta barrera, o bien las condiciones actuales favorecen el incremento de esta barrera.

La tabla a continuación resume las barreras y relevancia para Valdivia.

Tipo	Descripción	Relevante a Valdivia
Barreras Financieras	Altos costos de inversión inicial: Los buses eléctricos, pueden costar entre 2 a 3 veces más que un bus diésel equivalente	Alto
	Difícil acceso y altos costos del financiamiento	Alto
	Mecanismos de financiamiento enfocados en diésel	Alto
	Limitada inversión en infraestructura: de carga, red eléctrica y, a veces, vial; encarece el proyecto.	Alto
	Falta de mercado secundario: e-buses usados que podrían bajar los costos de adquisición.	Alto
	Deficiencia en planificación financiera y visión de sostenibilidad a largo plazo	Medio
	Normativas que favorecen el uso de diésel	Bajo

Barreras Políticas	Falta de políticas públicas favorables (o enfoque inadecuado)	Bajo
	Políticas ambientales poco agresivas	Bajo
	Informalidad del sistema de transporte: Falta de organización por parte de la autoridad de transporte: malas prácticas y deficiencias que debilitan el sistema.	Medio
	Falta de regulaciones de los componentes de electromovilidad: como homologación, seguridad, protocolos de comunicación, etc.	NA
	Desinterés y/o resistencia de operadores para transformar tecnología	Medio
	Desconocimiento de estrategias para adquirir e-buses: Estrategias distintas a la compra directa.	Baja
	Dificultad de articulación entre distintos actores.	Medio
Barreras Técnicas	Fabricantes con poca presencia local	Bajo
	Incertidumbre sobre el ciclo de vida de las baterías	Medio
	Desinformación respecto a la tecnología	Medio
	Falta de datos reales de operación bajo las condiciones de la ciudad	Medio
	Falta de conocimiento técnico	Alto
	Falta de condiciones para infraestructura de carga	Alto
	Modelos de operación enfocados en diésel: No consideran características como vida útil, costos de operación y mantención	Alto
	Reemplazo 1:1 de buses: Rutas con gran exigencia podrían necesitar más de un e-bus por cada bus diésel.	RMI

Por su parte, también se realizó un resumen de los riesgos asociados a la introducción de BEBs. Dentro de los riesgos encontrados para Valdivia, un aspecto resaltado es la aceptación de la tecnología por parte de los operadores. Considerando que son estos los dueños y propietarios de las maquinarias. En este sentido varios de los riesgos que a continuación se describen deben considerar que un actor clave en el éxito de la implementación de los buses eléctricos son los operadores.

Tipo	Descripción
Riesgos financieros	Riesgo en la contraparte
	Riesgo por demanda
	Cambio monetario (<i>currency risk</i>)
Riesgos políticos	Cambio en prioridades políticas
	Cambios contractuales
Riesgos técnicos	Depreciación rápida de componentes tecnológicos
	Rendimiento y vida útil de las baterías menor a lo esperado
	Servicios de postventa limitado o exiguo
	Limitada disponibilidad de infraestructura de carga adicional

Uno de los temas centrales, sigue siendo la diferencia notoria en el costo total de operación de los buses eléctricos con respecto a los buses diésel bajo las condiciones actuales. Si bien hay

algunas rutas que tienen un potencial económico de ser electrificadas, la gran mayoría todavía tiene un déficit que tiene que cubrir de distintas formas. Entre ellas, a través del subsidio de renovación de flota establecido por el MTT en el programa Renueva tu Micro. Sin embargo, este subsidio no considera ninguna inversión en infraestructura y en muchos casos no llega a cubrir el diferencial de inversión completo entre las dos tecnologías actualmente disponibles para buses urbanos en regiones (ver figura siguiente).

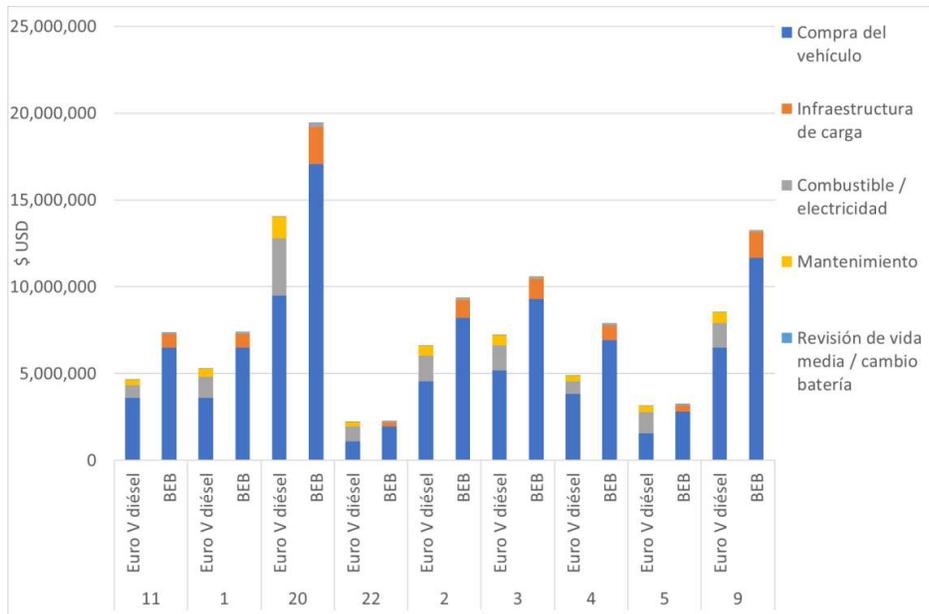


Figura 74. Valores de TCO para las distintas líneas. (Fuente: Elaboración propia)

Considerando los antecedentes anteriores, se desarrolló un lineamiento para cumplir con la meta de electrificación de todos los servicios de transporte público al 2040. Para esto, se establecieron los procesos de renovación de flota como claves para la progresiva integración de buses eléctricos al sistema. Sin embargo, es sumamente importante comenzar un proceso paralelo para determinar el potencial de electrificación de los distintos puntos de carga dentro de la ciudad, en materia de la infraestructura eléctrica instalada, obra civil y viabilidad económica de la operación.

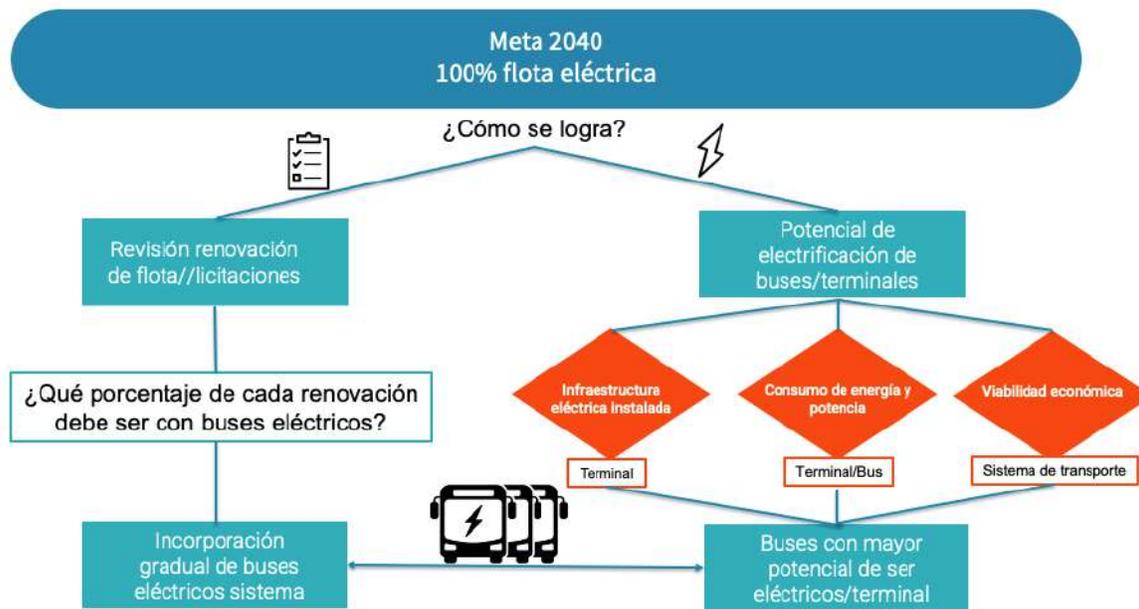


Figura 75: Metodología para el desarrollo de una hoja de ruta. (Fuente: Elaboración propia)

Para poder acelerar estos procesos, se establecieron una serie de acciones de notoriedad como fruto de los resultados de la estrategia. Entre estas, se destaca el fortalecimiento de vínculos con el sector privado y sector público para acelerar despliegue de la electromovilidad en todos sus modos, el fortalecimiento de capital humano en materia de electromovilidad, en particular con operadores y sector académico regional y de manera más importante una expansión del programa Renueva tu Micro regional con fondos adicionales para reducir la brecha de inversión y apoyar el despliegue de un transporte público sin emisiones. Finalmente, para romper la barrera de infraestructura de carga, se desarrollará el primer proyecto de electroterminal municipal de uso mixto en el país – incluyendo un enfoque multi-modo para transporte público mayor y menor al igual que flotas de uso privado. Estas acciones podrán dejar las bases para el crecimiento de los servicios con buses eléctricos en la Región en el corto plazo al mismo tiempo que dejando precedentes que pueden ser replicados (con ciertas adaptaciones) en otras ciudades de Chile, pero también de América Latina y el Caribe.

Referencias

- APITTAL (2018) Mediciones de Demanda de Pasajeros en Servicios de Buses y Microbuses Urbanos de Valdivia. Disponible en: <http://www.dtpo.gob.cl/PDF/MenuSuperior//Estudios/XIV/2/Informe%20Final%20Valdivia%202018.pdf>
- Ardanuy Ingeniería, S. A. (2019). La electromovilidad en el transporte público de América Latina. CAF, Caracas.
- CIPRES Ingeniería (2017) Actualización Plan de Transporte de Valdivia y Desarrollo de Anteproyecto, Etapa II. Disponible en: http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/log_busqueda_archivo.asp?url=%2Fcontenido%2Fbiblioteca%2FDocumentos%2FActualiz%5FPlan%5FTe%5FValdivia%5Fy%5FDes%5FAnteproy%5FEtapa%5FII%5FInf%5FFinal%2Ezip
- Decreto N.º 8 (2020). Aprueba reglamento de seguridad de las instalaciones de consumo de energía eléctrica. Ministerio de Energía. Disponible en: <http://bcn.cl/2icl0>
- DICTUC S.A. (2012) Mediciones de demanda de pasajeros en servicios de buses urbanos de Valdivia, río Bueno y La Unión. Disponible en: <http://www.dtpo.gob.cl/PDF/MenuSuperior/Estudios//XIV/3/N%C2%B01%20INFORME.zip>
- DTPR (2014). Plan de Transporte Público Regional: Región de Los Ríos.
- DTPR (2018). Mediciones de Demanda de Pasajeros en Servicios de Buses y Microbuses Urbanos de Valdivia.
- El Rancaguino (2022). Suspenden licitación para buses eléctricos en Rancagua. Disponible en: <https://www.elrancaguino.cl/2022/02/16/suspenden-licitacion-para-buses-electricos-de-rancagua/>
- Elaadnl (2019). *EV Related Protocol Study: Original Study Report Version 1.1*. Disponible en: https://www.elaad.nl/uploads/files/EV_related_protocol_study_v1.1.pdf
- Enel X (2018). Enel X, Metbus y BYD inauguran primer electroterminal de Latinoamérica para los buses eléctricos que hoy comienzan a circular por Santiago. Disponible en: https://www.enelx.com/content/dam/enel-x-cl/press-releases/15_12_2018%20CP%20Inauguraci%C3%B3n%20Electroterminal%20Pe%C3%B1alol%C3%A9n_v4.pdf
- Espacio T (2021). Unión temporal de postulantes: electromovilidad al alcance de todos. Disponible en: <https://espaciot.cl/2021/06/30/union-temporal-de-postulantes-electromovilidad-al-alcance-de-todos/>

- Everis Chile S.A. (2016) Infraestructura Menor y Variables de Operación Asociada al Sistema de Transporte Público Mayor Urbano de Valdivia, Análisis y Propuestas. Disponible en: http://www.dtp.r.gob.cl/PDF/MenuSuperior/Estudios//XIV/Informe%20Final_Infraestructura%20Valdivia.pdf
- F. Casanello (2018). Ley Espejo: Los cambios que se debieran realizar. Disponible en: <https://www.uss.cl/ingenieria-y-tecnologia/ley-espejo-cambios/>.
- Fitrans (2021). Financiamiento y crédito para buses nuevos y usados <http://www.fitrans.cl/>
- Gobierno de Chile (2022). Ministra Hutt y Subsecretario Domínguez anuncian nuevos buses eléctricos para el corredor en avenida Santa Rosa. Disponible en: <https://www.gob.cl/noticias/ministra-hutt-y-subsecretario-dominguez-anuncian-nuevos-buses-electricos-para-el-corredor-en-avenida-santa-rosa/>
- ICCT (2018). Technical considerations for implementing a real driving emissions test for passenger vehicles in India. Disponible en: https://theicct.org/sites/default/files/publications/RDE_India_Position%20Brief_20180531.pdf
- Marsh (2021). Political Risk Map 2021. Disponible en: <https://www.marsh.com/sg/services/political-risk/insights/political-risk-map-2021.html>
- Ministerio de Energía de Chile (2021). Plataforma de electromovilidad. Sistemas de carga. Disponible en: <https://energia.gob.cl/electromovilidad/sistemas-de-carga/cargadores-electricos>
- MOP. Dirección de Vialidad (2021). Red vial nacional, dimensionamiento y características. Disponible en: <https://vialidad.mop.gob.cl/areasdevialidad/gestionvial/Documents/RedVialNacional%20DimensionamientoyCaracteristicas2020.pdf>
- MTT (2012). Renueva tu micro. Disponible en: http://apps.mtt.cl/chatarrizacion/pdf/Programa_Renueva_tu_Micro_ANAC%20120315.pdf
- MTT (2021). Damos inicio a la postulación al programa renueva tu micro 2021 para que operadores reemplacen sus máquinas por otras más modernas. Disponible en: <http://www.conaset.gov.cl/archivos/29772>.
- Ó. Figueroa, P. Mora, I. Poduje, V. Rabi y J. Wood (2018). Desarrollo del transporte en regiones: Radiografía del uso del fondo espejo y propuestas.
- Open Charge Alliance. (2020). Global Platform for open protocols. Disponible en: <https://www.openchargealliance.org/>
- Portal Movilidad (2021) Operadores de buses inician acciones legales para frenar el Electrocorredor de Antofagasta. Disponible en:

<https://portalmovilidad.com/operadores-de-buses-inician-acciones-legales-para-frenar-el-electrocorredor-de-antofagasta/>

- Portal Movilidad (2021). Duro mensaje de los operadores de Arica por la nueva licitación de buses eléctricos. Disponible en <https://portalmovilidad.com/duro-mensaje-de-los-operadores-de-arica-por-la-nueva-licitacion-de-buses-electricos/>
- Resolución Exenta N.º 558 (2021). Aprueba bases que indica. Gobierno Regional, Región de los Lagos. Disponible en: https://www.dtp.cl/pdf/rtm/proceso2021/RES_EX_558_-_RENUOVA_TU_MICRO.pdf
- Resolución N.º 130 (2014). Aprueba formato tipo de acto administrativo que establece perímetro de exclusión de la Ley N.º 18.696, en el área geográfica de aplicación del mismo y aprueba condiciones de operación, requisitos y otras exigencias que expone. República de Chile, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Disponible en: http://www.mtt.gob.cl/wp-content/uploads/2015/07/Res_130.2014.pdf
- Resolución N.º 12 (2020). Aprueba condiciones de operación, requisitos y otras exigencias que expone de perímetro de exclusión de la Ley N.º 18.696, Establecida en la comuna de Valdivia de la Región de Los Ríos. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Disponible en: http://www.dtp.gob.cl/pdf/perimetros/Valdivia/Resoluciones_Generales/Res_12_Aprueba_Condiciones_de_Operación.pdf
- Revista en Concreto (2021). Electroterminal El Conquistador movilidad limpia para el gran Santiago. Disponible en: <https://www.revistaenconcreto.cl/grandes-obras-cchc/electroterminal-el-conquistador-movilidad-limpia-para-el-gran-santiago/>
- SEC. Ministerio de Energía. (2020). Pliego técnico Normativo RIC N.º 15. Disponible en: <https://www.sec.cl/sitio-web/wp-content/uploads/2020/10/RIC-N15-Infra-para-la-recarga-de-vehiculos-electricos-Final.pdf>
- SECTRA (2017). Actualización Plan de Transporte de Valdivia y Desarrollo de Anteproyecto, Etapa II.
- Trasa Ingeniería (2014) Actualización Plan de Transporte Valdivia y desarrollo de anteproyecto, I Etapa. Disponible en: http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/log_busqueda_archivo.asp?url=%2Fcontenido%2Fbiblioteca%2FDocumentos%2FActualizacion%5FPlan%5FTransporte%5FValdivia%5FI%5Fetapa%5FInf%5FFinal%2Ezip
- Y. Al-Wreikat, C. Serrano, J. Sodré (2021). Driving behaviour and trip condition effects on the energy consumption of an electric vehicle under real-world driving. Applied Energy. Vol 297. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261921005444>

ANEXO

Líneas Actualmente Operativas en Valdivia

Línea 1

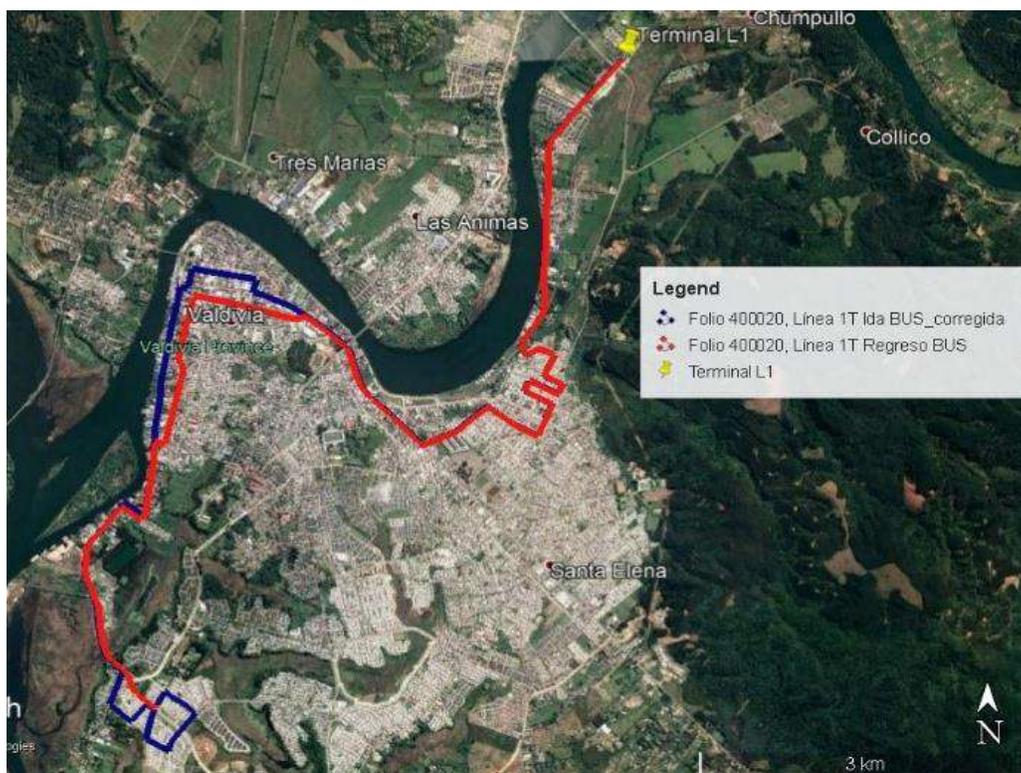


Figura 76: Recorrido Línea 1 (Fuente: Google Earth)

La ruta comienza desde Terminal L1, L3 en la calle Ingeniero Raúl Sáez y termina en el terminal L1, ubicado en la calle Av. Balmaceda. Tiene 55 paradas, opera entre las 06:45 y 21:45 horas y pertenece a la empresa Transportes Collico N°1 S.A.

Tabla 48. Distancias de recorrido y número de buses de la línea 1T (Fuente: CMM)

Total	Distancia [Km]		Flota
	Ida	Vuelta	
29,4	15,8	13,6	30

Línea 2

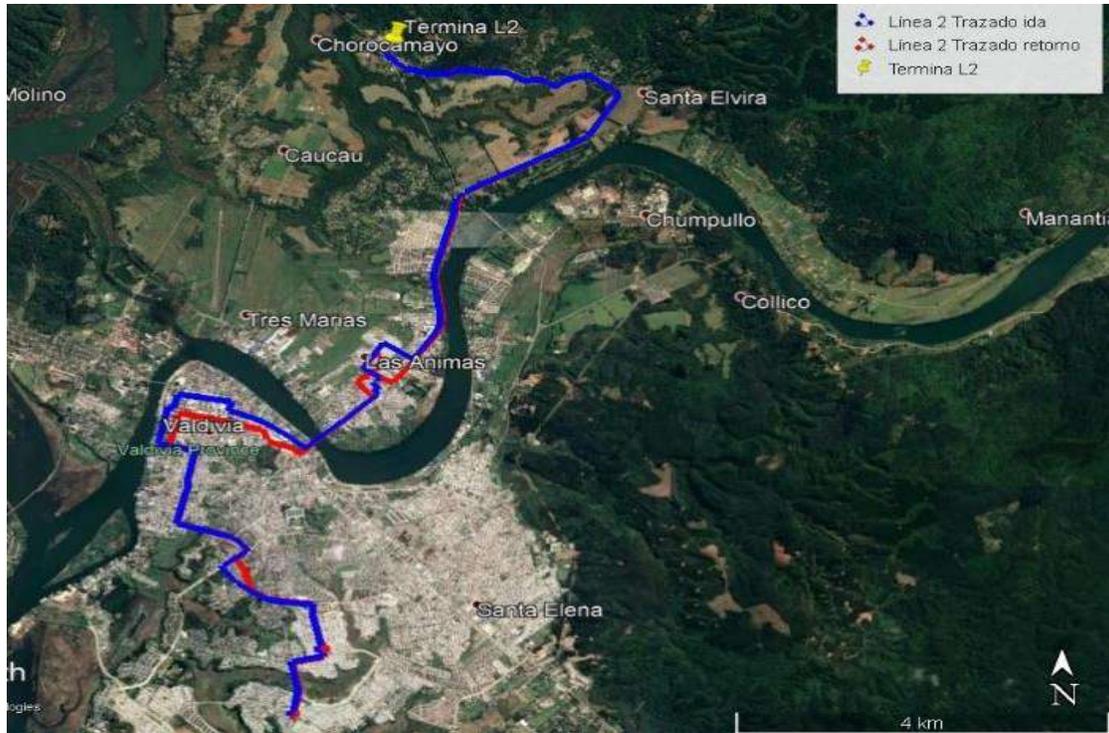


Figura 77: Recorrido Línea 2 (Fuente: Google Earth)

La ruta comienza desde Terminal L2 en Av. Simpson y termina en la intersección entre Pedro Montt y Crozimbo Barboza. Tiene 62 paradas, opera entre las 06:45 y 21:45 horas y pertenece a Transportes Lourdes S.A.

Tabla 49. Distancias de recorrido y número de buses de la línea 2. (Fuente: CMM)

Total	Distancia [Km]		Flota
	Ida	Vuelta	
35,5	17,9	17,6	38

Línea 3

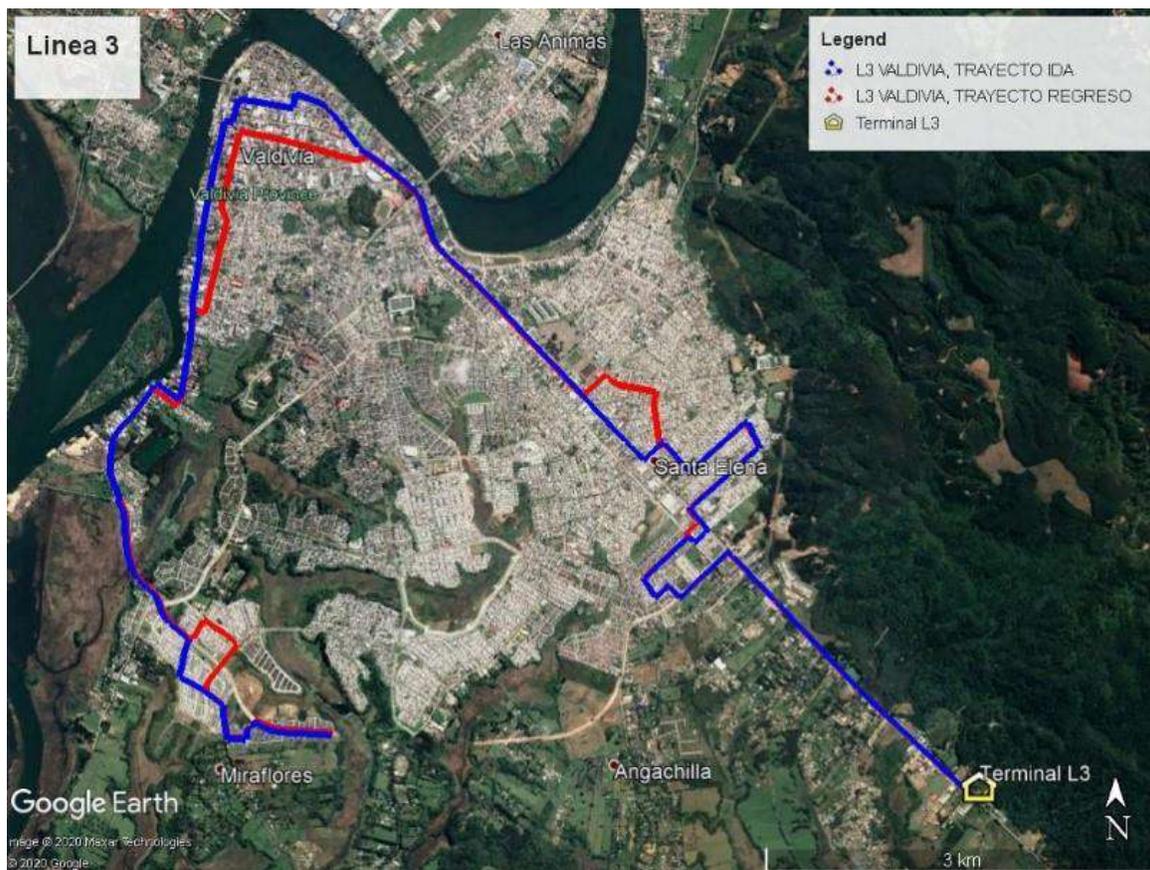


Figura 78: Recorrido Línea 3 (Fuente: Google Earth)

La ruta comienza desde el terminal L3 ubicado en la ruta 206, y finaliza su recorrido en el terminal L1, L3. Tiene 62 paradas, opera entre las 06:45 y 21:30 y pertenece a la empresa Tracols S.A.

Tabla 50. Distancias de recorrido y número de buses de la línea 3. (Fuente: CMM)

Total	Distancia [Km]		Flota
	Ida	Vuelta	
35,8	17,9	17,9	43

Línea 4

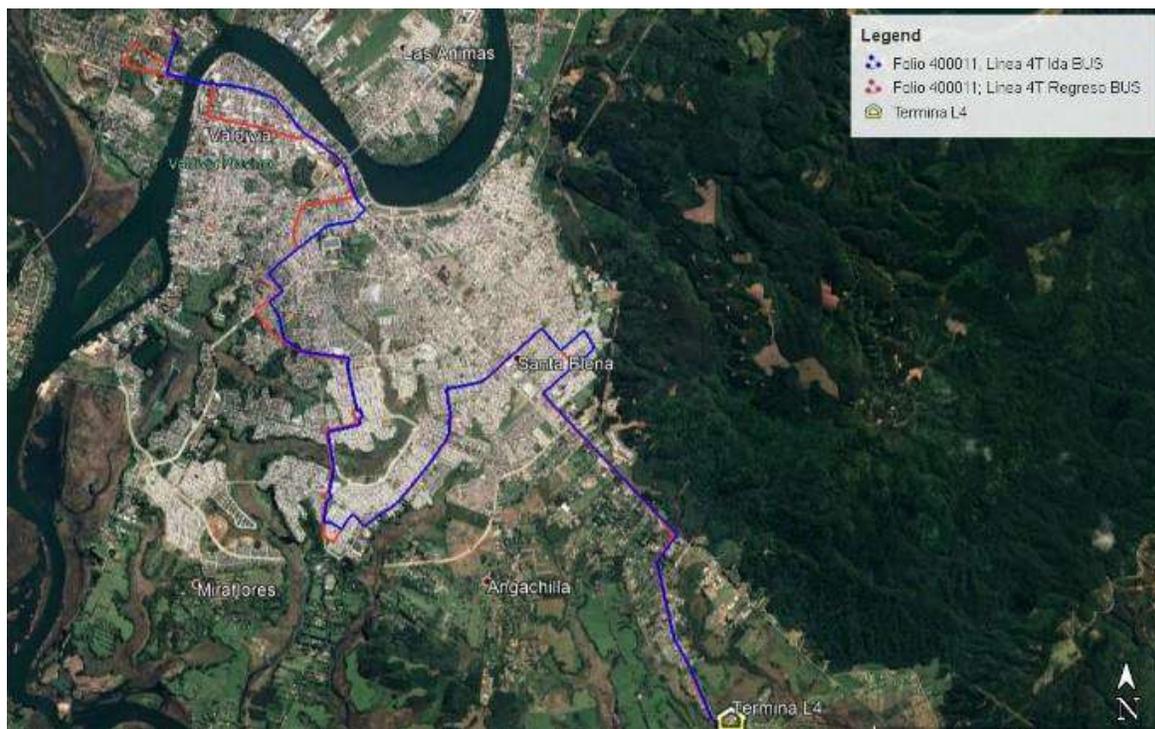


Figura 79: Recorrido Línea 4 (Fuente: Google Earth)

La ruta comienza desde el terminal L4, L5 ubicado en la ruta 206, y finaliza su recorrido en la intersección de la Ruta T-418 y Los Nogales. Tiene 78 paradas, opera entre las 06:45 y 21:45 y pertenece a la empresa Transportes Regional Sur S.A.

Tabla 51 Distancias de recorrido y número de buses de la línea 4. (Fuente: CMM)

Total	Distancia [Km]		Flota
	Ida	Vuelta	
36,3	17,6	18,7	32

Línea 5

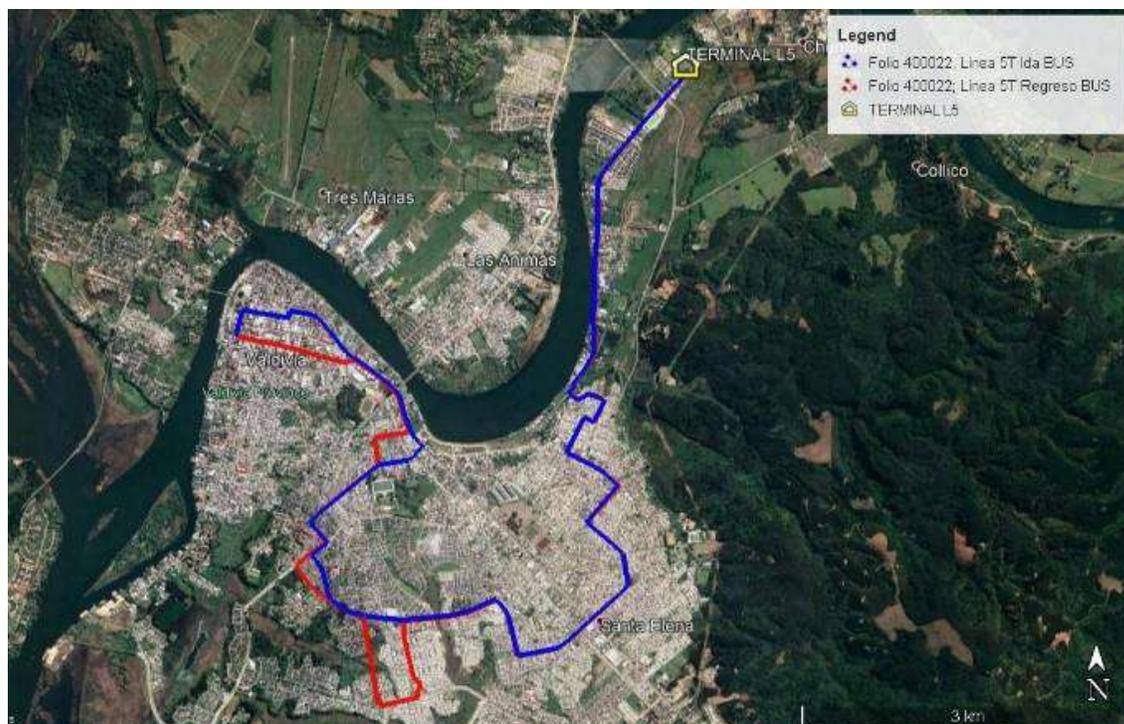


Figura 80: Recorrido Línea 5 (Fuente: Google Earth)

La ruta 5 pertenece a la empresa Transportes Regional Corvi, inicia su recorrido Hospital Regional y finaliza su recorrido en el terminal L5 ubicado en Av. Balmaceda.

Tabla 52 Distancias de recorrido y número de buses de la línea 5. (Fuente: CMM)

Total	Distancia [Km]		Flota
	Ida	Vuelta	
29,1	13,9	15,2	13

Línea 9



Figura 81: Recorrido Línea 9 (Fuente: Google Earth)

La ruta 9 es una ruta circular que parte en el terminal L9 ubicado en la intersección de la calle los Robes con Camino De Luna, cuenta con 72 paradas, opera desde las 06:45 hasta las 21:45 horas y pertenece a la empresa Transportes Río Cruces N° 9 S.A.

Tabla Distancias de recorrido y número de buses de la línea 9. (Fuente: CMM)

Total	Distancia [Km]		Flota
	Ida	Vuelta	
34,7	17,2	17,5	54

Línea 11

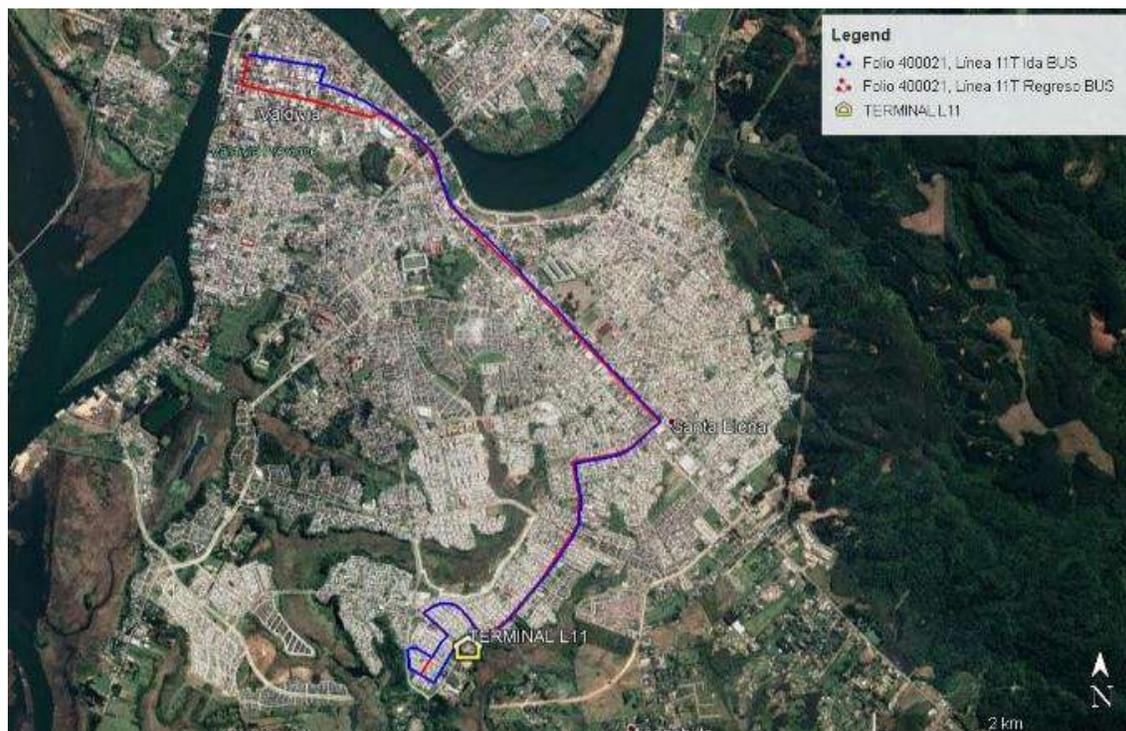


Figura 82: 1 Recorrido Línea 11 (Fuente: Google Earth)

La ruta 11 es una ruta circular que parte en el terminal L11, ubicado en calle Independencia con Chacabuco. Cuenta con 39 paradas, opera desde las 07:00 y finaliza a las 21:30 horas y es perteneciente a la empresa Transportes San Pedro N° 11 S.A.

Tabla 53 Distancias de recorrido y número de buses de la línea 11. (Fuente: CMM)

Total	Distancia [Km]		Flota
	Ida	Vuelta	
17,4	8,8	8,6	30

Línea 22

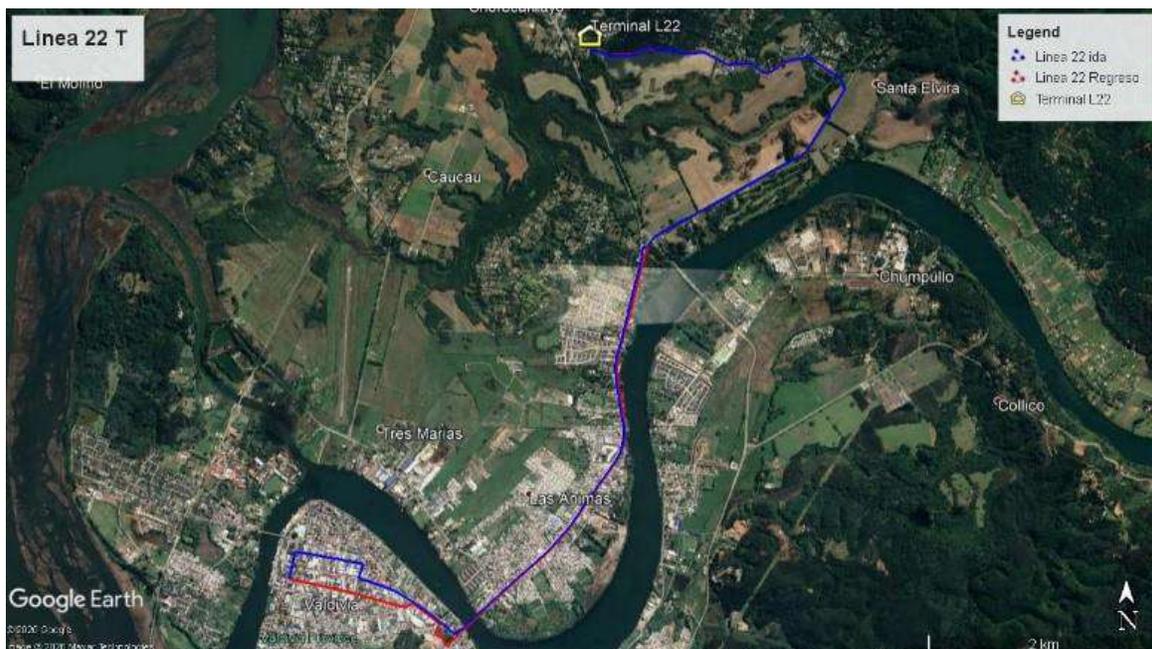


Figura 84: 2 Recorrido Línea 22 (Fuente: Google Earth)

La ruta pertenece a la empresa Transportes Las Ánimas S. A. C. Comienza en el terminal L22 ubicado en el sector El Arenal, km.2 y finaliza su recorrido en el centro de Valdivia.

Tabla 55. Distancias de recorrido y número de buses de la línea 22. (Fuente: CMM)

Total	Distancia [Km]		Flota
	Ida	Vuelta	
21,1	10,7	10,4	9

La información entregada previamente se puede resumir en la siguiente tabla:

Tabla 56. Resumen de la información por ruta. (Fuente: Elaboración Propia)

Línea	Total	Ida	Vuelta	Flota	Paradas
2	35,5	17,9	17,6	30	62
3	35,8	17,9	17,9	30	62
4	36,3	17,6	18,7	79	78
5	29,1	13,9	15,2	9	-
9	34,7	17,2	17,5	38	72
11	17,4	8,8	8,6	43	39
20	58,4	28,8	29,6	32	122
22	21,1	10,7	10,4	13	-

Terminales de líneas operativas

A continuación, se muestran distintas imágenes de los terminales de buses según las líneas operativas que poseen esta infraestructura. Estas imágenes fueron tomadas desde Google Earth, y corresponden a una visualización de manera no presencial de los terminales.

Se aprecian las diversas situaciones presentes en particular en cada uno de los terminales, teniendo en consideración que mucho de ellos inician su recorrido en el terminal mismo. Esto junto a otros aspectos importantes serán de relevancia para un adecuado futuro diseño de implementación que solvante las necesidades tanto del operador como del usuario.

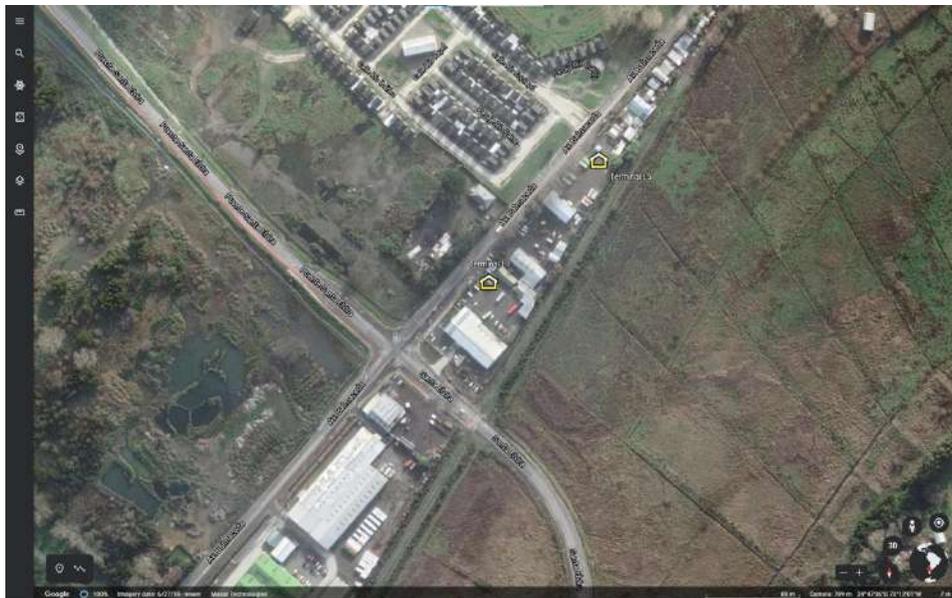


Figura 85: Vista superior Terminal Línea 1 (Fuente: Google Maps)



Figura 86: Entrada terminal línea 1 (Fuente: Google Maps)



Figura 87: Vista entrada terminal línea 1 (Fuente: Google Maps)



Figura 88: Vista superior Terminal línea 2 (Fuente: Google Maps)



Figura 89: Entrada terminal línea 2 (Fuente: Google Maps)



Figura 90: Vista entrada terminal línea 2 (Fuente: Google Maps)



Figura 91: Vista entrada terminal línea 2 (Fuente: Google Maps)



Figura 92: Vista superior Terminal línea 3 (Fuente: Google Maps)

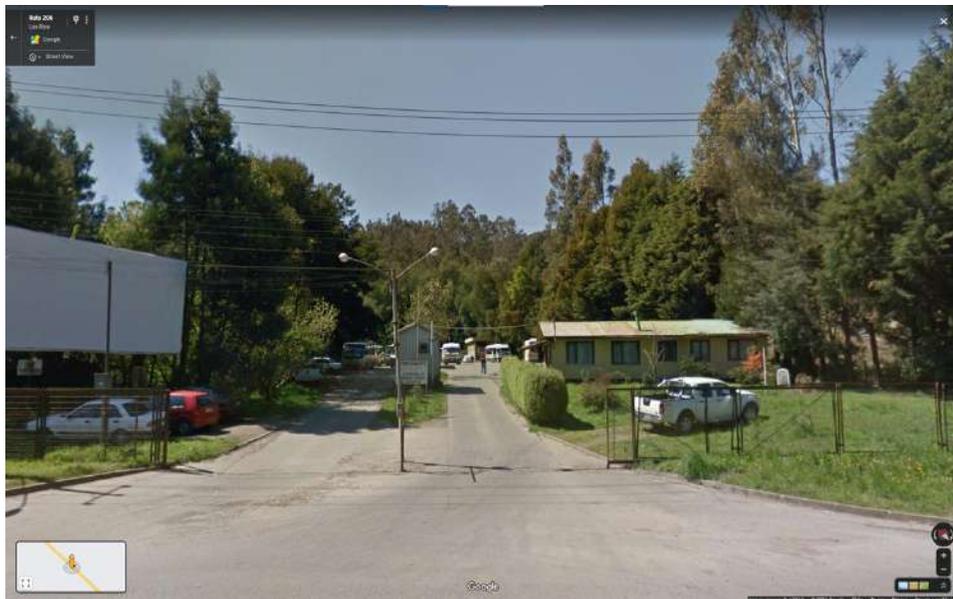


Figura 93: Entrada terminal línea 3 (Fuente: Google Maps)



Figura 94: Vista entrada terminal línea 3 (Fuente: Google Maps)



Figura 95: Vista superior Terminal línea 4 (Fuente: Google Maps)



Figura 96: Entrada terminal línea 4 (Fuente: Google Maps)



Figura 97: Vista lateral entrada terminal línea 4 (Fuente: Google Maps)



Figura 100: Entrada terminal línea 5 (Fuente: Google Maps)



Figura 101: Vista loza terminal línea 5 (Fuente: Google Maps)



Figura 102: Vista superior terminal línea 9 (Fuente: Google Maps)



Figura 103: Entrada terminal línea 9 (Fuente: Google Maps)



Figura 104: loza terminal línea 9 (Fuente: Google Maps)



Figura 105: Entrada terminal línea 11 (Fuente: Google Maps)



Figura 106: Vista superior terminal línea 20 (Fuente: Google Maps)



Figura 107: Entrada terminal línea 20 (Fuente: Google Maps)



Figura 108: Entrada terminal línea 20 (Fuente: Google Maps)



Figura 109: Paradero línea 22 (Fuente: Google Maps)



Figura 110: Vista superior terminal línea 22 (Fuente: Google Maps)



Figura 111: Vista superior terminal línea LX ELC (Fuente: Google Maps)



Figura 112: Entrada terminal línea LX ELC (Fuente: Google Maps)



Figura 113: Vista loza terminal línea LX ELC (Fuente: Google Maps)

De las imágenes anteriores es importante recalcar que existe una brecha grande en lo que respecta a la adecuación en obras civiles para el funcionamiento apropiado de terminales que están siendo utilizados para el transporte público de la ciudad. Estos costos deben tener en cuenta una serie de consideraciones.

