



Piloto de Electromovilidad en Chile: Adopción de Maquinaria de Construcción Eléctrica para el Ministerio de Obras Públicas



Piloto de Electromovilidad en Chile:

Adopción de Maquinaria de Construcción Eléctrica para el Ministerio de Obras Públicas

Documento elaborado en el marco del Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina - CALAC+ (Fase 2) financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE y ejecutado por la Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico – Swisscontact

El presente documento es de carácter informativo y no necesariamente refleja los puntos de vista u opiniones de las organizaciones y gobiernos participantes.

Las denominaciones utilizadas y la presentación del material de esta publicación no implican en lo absoluto la expresión de ninguna opinión sobre el estatus legal de un país, territorio, ciudad o área, sobre sus autoridades.

Elaborado por:

Responsable

Felipe Donoso Vergara

Investigadores y Equipo Técnico

Mauricio Silva Alcalde
Franco Gnecco González
Gilberto Escalona Robles

Revisado y complementado por:

Franco Fuentes Rampoldi - Coordinador Local CALAC+
Santiago Morales - Coordinador Nonroad CALAC+
Adrián Montalvo Balarezo - Director Programa CALAC+

Foto de portada: Banco de Fotos Obra cero emisiones - Misión Oslo, Noruega / Programa CALAC+
Edición junio 2024.

LOS TEXTOS PUEDEN SER MENCIONADOS TOTAL O PARCIALMENTE CITANDO LA FUENTE

Swisscontact

Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico
Calle José Gálvez N° 692 - Piso 7, Miraflores Lima 15073, Perú
Tel. +51 500 5075
pe.info@swisscontact.org
www.swisscontact.org



Your donation
in good hands.



United Nations
Global Compact

Resumen

Este informe detalla el proceso inicial de evaluación de factibilidad de electrificación de la flota de vehículos y maquinaria del Ministerio de Obras Públicas de Chile. También se plantean diferentes alternativas para adquisición y operación de las flotas.

En primera instancia, se recopiló información sobre las operaciones realizadas y los tipos de vehículos y/o maquinaria necesaria para llevar a cabo las labores. Además, se realizó un levantamiento de información de la cantidad de vehículos y maquinarias que se utilizan actualmente para las operaciones, además de los gastos promedio que tienen algunos de estos. En base a esta información, se identificaron los principales proveedores en el mercado de vehículos eléctricos o maquinaria eléctrica que pudiera realizar la labor de la contraparte diésel que está implementada actualmente. En adición, se contactaron diferentes proveedores e instaladores de infraestructura de carga de vehículos eléctricos y se clasificaron según experiencia y tipo de proyecto al que se adecúa cada uno. También se mencionan las características de los bancos de carga transportables encontrados en el mercado. Se abarca la oferta de financiamiento para la electrificación de flotas de vehículos en Chile.

Además de los aspectos generales que se deben tener en cuenta al electrificar una flota, se muestra la maquinaria utilizada de proyectos de construcción similares que fueron llevados a cabo en el mundo y cómo fue utilizada. Se abarcan las semejanzas y diferencias con respecto a los equipos y las condiciones operacionales de los trabajos que realizan los equipos del Ministerio de Obras Públicas.

Se desarrolla una hoja de ruta en base al presupuesto disponible, a las metas medioambientales planteadas por el gobierno y a los vehículos que se consideró más importantes reemplazar en primera instancia, con la finalidad recopilar información útil para el proceso de electrificación de la flota completa de equipos.

Para evaluar el proyecto piloto, se desarrolla el análisis de los datos económicos asociados a la operación y adquisición de equipos eléctricos en el proyecto piloto. Se detallan los diferentes indicadores de control que se deben considerar al llevar a cabo el proyecto, además de los diferentes riesgos en cada una de las etapas del proyecto, para finalmente describir el impacto que tendrá el proyecto en la comunidad y en el ambiente.

Finalmente se describen las características de los vehículos que se planea utilizar en el proyecto piloto de electrificación.

Palabras clave: electrificación, proyecto piloto, flota, Ministerio de Obras Públicas.

Tabla de contenido

GLOSARIO.....	8
1. COMPRENSIÓN DEL MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS.....	10
1.1 MANUAL DE CARRETERAS Y TIPOS DE FAENAS	10
1.2 TIPOLOGÍA DE VEHÍCULO	11
1.3 GASTOS DE FLOTA.....	13
1.4 MAPEO CONCEPTUAL DE LA OPERACIÓN	14
2. MAPEO MERCADO PROVEEDORES	18
3. INFORMACIÓN VEHÍCULOS Y MMNC	22
4. INFRAESTRUCTURA DE CARGA	25
4.1 OFERTA DE MERCADO.....	25
4.2 BANCO DE CARGA	28
5. OFERTA FINANCIERA	30
6. ASPECTOS GENERALES DE ELECTROMOVILIDAD.....	32
6.1 NORMATIVA Y REGULACIÓN	32
6.2 ESTATUS DE LA INDUSTRIA	33
6.2.1 <i>Caso Barcelona</i>	33
6.2.2 <i>Caso Ontario</i>	34
6.2.3 <i>Caso Oslo</i>	35
6.2.4 <i>Caso Copenhague</i>	36
6.2.5 <i>Caso Viena</i>	37
6.2.6 <i>Caso Stuttgart</i>	38
6.2.7 <i>Caso Estocolmo</i>	38
6.2.8 <i>Caso Helsinki</i>	39
6.2.9 <i>La electromovilidad en Chile</i>	39
7. ANÁLISIS DE DATOS	41
7.1 MODELOS DE ADQUISICIÓN	41
7.2 RIESGOS DE ADQUISICIÓN.....	42
7.2.1 <i>Administrativo</i>	42
7.2.2 <i>Técnico</i>	43
7.2.3 <i>Financiero y económico</i>	44
7.3 MODELOS DE OPERACIÓN.....	45
7.4 RIESGOS DE OPERACIÓN	50
7.4.1 <i>Técnico</i>	50
7.4.2 <i>Operacional</i>	51
7.4.3 <i>Seguridad</i>	52
7.4.4 <i>Económico</i>	52
7.5 RIESGO DE IMPLEMENTACIÓN.....	53
7.5.1 <i>Técnico</i>	53

7.5.2	<i>Operacional</i>	54
7.5.3	<i>Seguridad</i>	55
7.5.4	<i>Económico</i>	55
7.6	INDICADORES DE CONTROL	56
8.	ROADMAP DEL PROYECTO	58
8.1	ROADMAP DE RECAMBIO DE EQUIPOS RECOMENDADO	59
8.2	PLANIFICACIÓN INFRAESTRUCTURA DE CARGA.....	65
9.	DISEÑO DE PROYECTO PILOTO DE MOP	65
9.1	PLANIFICACIÓN PILOTO POR PROVINCIA	66
9.2	PLANIFICACIÓN PILOTO POR FAENA.....	68
10.	ANÁLISIS DE COSTOS.....	69
11.	IMPACTO EN SUSTENTABILIDAD Y COMUNIDADES	74
11.1	RUIDO.....	74
11.2	EFICIENCIA Y PARIDAD DE GÉNERO	74
11.3	INYECCIÓN DE ENERGÍA.....	75
11.4	DESECHOS	75
11.5	TERMINAL COMUNITARIO.....	76
11.6	GASES CONTAMINANTES.....	76
11.7	TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO.....	77
12.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS CONSIDERADOS EN LA ELECTRIFICACIÓN.....	78
12.1	CAMIONES TOLVA.....	78
12.2	CAMIONES CHASIS	79
12.3	MOTONIVELADORA	80
12.4	CARGADOR FRONTAL.....	81
12.5	CAMIONES TRACTO.....	82
12.6	CAMIÓN ALIBE	83
13.	CONCLUSIONES	85
14.	BIBLIOGRAFÍA	88
15.	ANEXO	93
15.1	INFORMACIÓN DE VEHÍCULOS	93
15.1.1	<i>Camiones chasis-cabina</i>	93
15.1.2	<i>Camiones tolva</i>	94
15.1.3	<i>Tractocamiones</i>	94
15.1.4	<i>Camionetas</i>	95
15.1.5	<i>Rodillos vibratorios</i>	95
15.1.6	<i>Barredoras</i>	96
15.1.7	<i>Excavadora oruga</i>	96
15.1.8	<i>Miniexcavadora oruga</i>	96
15.1.9	<i>Montacargas</i>	97
15.1.10	<i>Cargadores frontales</i>	97
15.1.11	<i>Motoniveladora</i>	98

15.2	RESUMEN GRÁFICO Y CONCLUSIONES GENERALES.....	98
15.2.1	<i>Información general</i>	98

Figuras

FIGURA 1: DISTRIBUCIÓN GENERAL DE VEHÍCULOS (TOTAL >50).	12
FIGURA 2: COBERTURA DE VIAJES DE UN CAMIÓN CON AUTONOMÍA DE 200 [KM].	17
FIGURA 3: REQUERIMIENTO DE BATERÍA SEGÚN TABLA 2.	17
FIGURA 4: CLASIFICACIÓN DE EMPRESAS DE INFRAESTRUCTURA DE CARGA SEGÚN EXPERIENCIA Y NIVELES DE POTENCIA.	27
FIGURA 5: CLASIFICACIÓN DE EMPRESAS DE INFRAESTRUCTURA DE CARGA SEGÚN EXPERIENCIA Y CAPACIDAD DE FINANCIAMIENTO.	28
FIGURA 6: FOTOGRAFÍA DE LAS OBRAS REALIZADAS EN BARCELONA [10].	34
FIGURA 7: FOTOGRAFÍA DE LA MAQUINARIA UTILIZADA EN LA MINA DE CANADÁ [13].	35
FIGURA 8: FOTOGRAFÍA DE LA MAQUINARIA UTILIZADA EN LAS OBRAS DE OSLO [18].	36
FIGURA 9: FOTOGRAFÍA DE LA MAQUINARIA UTILIZADA EN LAS OBRAS DE VIENA [21].	37
FIGURA 10: FOTOGRAFÍA DE LA MAQUINARIA UTILIZADA EN LAS OBRAS DE STUTTGART [22].	38
FIGURA 11: DIAGRAMA DE MODELO DE OPERACIÓN 1.	46
FIGURA 12: DIAGRAMA DE MODELO DE OPERACIÓN 2A.	47
FIGURA 13: DIAGRAMA DE MODELO DE OPERACIÓN 2B.	48
FIGURA 14: DIAGRAMA DE MODELO DE OPERACIÓN 3.	49
FIGURA 15: DISTRIBUCIÓN DE PRESUPUESTO POR AÑO PARA MAQUINARIA Y VEHÍCULOS EN MILES DE PESOS.	60
FIGURA 16: DISTRIBUCIÓN DEL PRESUPUESTO DE ADQUISICIÓN DE VEHÍCULOS Y MAQUINARIA.	64
FIGURA 17: CANTIDAD DE OFERTAS POR TIPO DE VEHÍCULO EN CHILE.	99
FIGURA 18: PRECIOS PROMEDIO DE VEHÍCULOS MAPEADOS.	100

Tablas

TABLA 1: GASTOS PROMEDIO VEHÍCULOS Y MMNC DIÉSEL ACTUALES MOP	13
TABLA 2: INFORMACIÓN DE VIAJES CARGADOR FRONTAL.	16
TABLA 3: PROVEEDORES DE VEHÍCULOS Y MMNC ELÉCTRICAS.	18
TABLA 4: INFORMACIÓN PROMEDIO DE VEHÍCULOS Y MMNC.	22
TABLA 5: EMPRESAS QUE REALIZAN INFRAESTRUCTURA DE CARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN CHILE.	25
TABLA 6: OFERTA DE UNIDADES DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.	29
TABLA 7: OFERTA DE MERCADO DE FINANCIAMIENTO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN CHILE.	30
TABLA 8: OFERTA DE MERCADO DE FINANCIAMIENTO DE INFRAESTRUCTURA DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN CHILE.	30
TABLA 9: INDICADORES DE CONTROL ASOCIADOS AL VEHÍCULO ELÉCTRICO.	56
TABLA 10: INDICADORES DE CONTROL ASOCIADOS A LA INFRAESTRUCTURA DE CARGA.	57
TABLA 11: INDICADORES DE CONTROL ASOCIADOS A LA ENERGÍA.	57
TABLA 12: PRESUPUESTO POR AÑO PARA REEMPLAZO DE EQUIPOS.	59
TABLA 13: CLASIFICACIÓN PARA REEMPLAZO DE EQUIPOS.	61
TABLA 14: TASA DE REEMPLAZO MÁXIMA Y MÍNIMA JUNTO CON VEHÍCULOS CONSIDERADOS.	61
TABLA 15: PRESUPUESTO MOP DISTRIBUIDO POR AÑO SEGÚN DIÉSEL / CERO EMISIONES.	62
TABLA 16: CANTIDAD DE VEHÍCULOS RECOMENDADOS PARA COMPRA.	63
TABLA 17: CARACTERÍSTICAS RECOMENDADAS PARA CARGADORES.	67

TABLA 18: FECHAS ESTIMADAS ELECTRIFICACIÓN BASE PROVINCIAL	67
TABLA 19: FECHAS ESTIMADAS DE ELECTRIFICACIÓN FAENA.	68
TABLA 20: RESUMEN DE COSTOS DE ADQUISICIÓN POR VEHÍCULO.	69
TABLA 21: RESUMEN DE COSTOS DE MANTENCIÓN POR VEHÍCULO.	70
TABLA 22: COMPARATIVA DE COSTOS EN USD DE COMBUSTIBLE CON LOS DIFERENTES TIPOS DE TARIFA ELÉCTRICA.	70
TABLA 23: SUPUESTOS PARA EL CÁLCULO DE COSTOS TOTALES POR CONTRATO DE VEHÍCULOS.	71
TABLA 24: COMPARATIVA DE COSTOS TOTALES POR CONTRATO SEGÚN TIPO DE VEHÍCULO.	71
TABLA 25: COMPARATIVA DE COSTOS DE PROYECTO PILOTO DE BASE PROVINCIAL EN MILLONES DE PESOS CHILENOS.	72
TABLA 26: COMPARATIVA DE COSTOS DE PROYECTO PILOTO DE FAENA EN MILLONES DE PESOS CHILENOS.	73
TABLA 27: RESUMEN DE EMISIONES POR CICLO DE OPERACIÓN SEGÚN TIPO DE VEHÍCULO.	76
TABLA 28: DATOS COMERCIALES DE CAMIONES CHASIS-CABINA.	93
TABLA 29: DATOS COMERCIALES DE CAMIONES TOLVA.	94
TABLA 30: DATOS COMERCIALES DE TRACTOCAMIONES.	94
TABLA 31: DATOS COMERCIALES DE CAMIONETAS.	95
TABLA 32: DATOS COMERCIALES DE RODILLOS VIBRATORIOS	95
TABLA 33: DATOS COMERCIALES DE BARREDORAS.	96
TABLA 34: DATOS COMERCIALES DE EXCAVADORAS DE ORUGA	96
TABLA 35: DATOS COMERCIALES DE MINIEXCAVADORAS DE ORUGA.	97
TABLA 36: DATOS COMERCIALES DE MONTACARGAS	97
TABLA 37: DATOS COMERCIALES DE CARGADORES FRONTALES.	98
TABLA 38: DATOS COMERCIALES DE MOTONIVELADORAS.	98

Glosario

CA	:	Corriente Alterna
CALMAQ+	:	Calculadora Maquinaria Plus
CC	:	Corriente Continua
CLP	:	Peso Chileno
CO2	:	Dióxido de Carbono
db(A)	:	Decibelios ajustados con la ponderación A
IRVE	:	Infraestructura de Recarga para Vehículos Eléctricos
KBI	:	Key Behavior Indicator
KPI	:	key Performance Indicator
kW	:	Kilowatt
kWh	:	Kilowatt-Hora
L	:	Litros
MFR	:	Maquinaria Fuera de Ruta
ml/r	:	Milímetros por revolución
mm	:	milímetro
MMA	:	Ministerio del Medio Ambiente
MMNC	:	Maquinaria Móvil no de Carretera
MOP	:	Ministerio de Obras Públicas
MPa	:	Megapascales

MtCO ₂ eq	:	Megatoneladas de CO ₂ equivalente
MWh	:	Megawatt-hora
Nm	:	Newton-metro
PBV	:	Peso Bruto Vehicular
ppm	:	Partes por Millón
PyME	:	Pequeña y Mediana Empresa
RIC	:	Reglamento de Seguridad de las Instalaciones de Consumo de Energía Eléctrica en Chile
rpm	:	Revoluciones por minuto
SEC	:	Superintendencia de Electricidad y Combustibles
SGE	:	Sistema de Gestión de Energía
SLA	:	Service Level Agreement o Acuerdo de nivel de servicio
SOAP	:	Seguro Obligatorio de Accidentes Personales
SOC	:	State of Charge
TCO	:	Total Cost of Ownership
TI	:	Tasa de Interés
ton	:	Toneladas
UF	:	Unidad de Fomento de Chile
UTM	:	Unidad Tributaria Mensual
USD	:	Dólar Estadounidense
V	:	Voltios

1. Comprensión del Ministerio de Obras Públicas

Para llevar a cabo exitosamente un proyecto de electrificación de flotas de vehículos es de vital importancia conocer el proceso que se quiere trabajar. Esto incluye la organización general de la empresa, información operativa y también económica, además del impacto social, funcional y económico de la electrificación.

Para la primera etapa de proyecto, se solicitó la mayor cantidad de información sobre la organización del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y también de los vehículos y las labores que realizan actualmente. En cuanto a la organización del Ministerio, se sabe que el proyecto corresponde ser atendido y validado por la dirección de vialidad; el proyecto va enfocado directamente a electrificar flotas que realizan obras de vialidad. Estas obras son realizadas en su mayoría (70%) por empresas contratistas (externas) y en menor medida (30%) se realizan con maquinaria y vehículos propios. El proyecto busca concentrar los esfuerzos en electrificar los vehículos que pertenecen al Ministerio de Obras Públicas. Para ello, se recopiló información sobre las labores realizadas y los tipos de vehículos que se implementan.

1.1 Manual de carreteras y tipos de faenas

El Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad del MOP es un documento de carácter normativo, que sirve de guía a las diferentes acciones que son de competencia técnica del Servicio, en el cual se establecen políticas, criterios, procedimientos y métodos que indican las condiciones por cumplir en los proyectos viales y que guardan relación con la planificación, estudio, evaluación, diseño, construcción, seguridad, mantenimiento, calidad e impacto ambiental [1].

1. De acuerdo con la información recabada en el Manual de Carreteras y el tipo de faena definido, se determinaron los tipos y cantidad de vehículos y maquinarias necesarios para cumplir con las labores requeridas. En este manual se encontró información sobre 56 de los 226 tipos de faenas disponibles. El detalle de todas las faenas encontradas en el Manual de Carreteras puede ser revisado en el anexo de este documento. Considerando la información obtenida, se comenzará el análisis de electrificación de las faenas utilizando como representación las 56 faenas encontradas.
2. A partir del documento, se seleccionaron tres faenas representativas para realizar una visita a las mismas con el fin de entender de mejor manera el funcionamiento de las operaciones y de los vehículos en las faenas. Las faenas elegidas fueron las siguientes:
 - Reperfilado simple (de algún tipo).
 - Demarcación (de algún tipo).
 - Recebo de capas de rodadura granulares.

Por otra parte, es importante notar que es posible englobar el 80% de las faenas encontradas en el manual de carretera se pueden englobar en 21 tipos, los cuales se mencionan a continuación.

- Reperfilado simple.
- Demarcación, línea lateral continua.
- Colocación de barreras metálicas de seguridad nuevas.
- Colocación de señalización vertical lateral de cualquier tipo.
- Recebo de capas de rodadura granulares.
- Reperfilado con compactación.
- Limpieza manual de la faja (m²).
- Limpieza de alcantarillas/sifones de hasta 1 m de altura o diámetro.
- Bacheo superficial manual con mezclas en frío predosificadas.
- Reparación de superestructura de madera.
- Sello tipo lechada asfáltica.
- Demarcación, línea de eje continua simple.
- Recebo de capas de rodadura granulares con provisión externa de material.
- Limpieza mecanizada de la faja por superficie.
- Demarcación, línea de eje segmentada.
- Confección de fosos y contrafosos en terreno de cualquier naturaleza.
- Limpieza de cunetas revestidas.
- Reconfección total de puentes de madera.
- Reperfilado simple con riego.
- Limpieza mecanizada de fosos/contrafosos.
- Bacheo de capas de rodadura granulares.

A partir de la lista anterior, derivan diferentes subtipos de faenas que abarcan el 47% del total de faenas.

1.2 Tipología de vehículo

Para realizar la electrificación de las flotas, es necesario considerar los tipos de vehículos que se utilizan en cada faena. De acuerdo con los tipos de faenas mencionadas en el capítulo anterior y con los datos adicionales entregados, se realizó el conteo total de vehículos utilizados en las diferentes operaciones, dando como resultado un total de 2013 vehículos. Para tener una visión general de los tipos de vehículos que se utilizan en las faenas y cuáles predominan en las faenas, se puede observar en la Figura 1 la distribución general de los tipos de vehículos. Para este gráfico sólo se consideraron los vehículos con un conteo total mayor a 50.

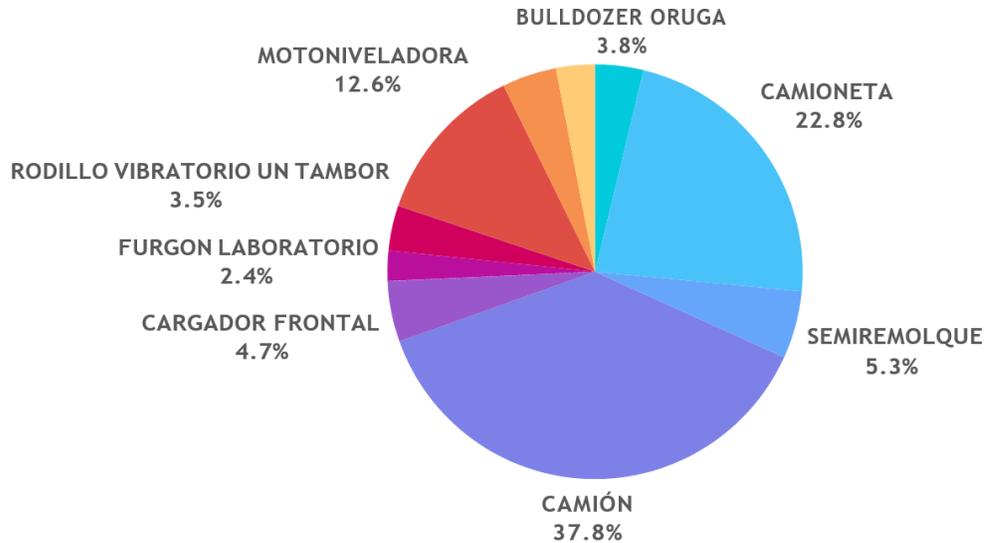


Figura 1: Distribución general de vehículos (total >50).

Se puede observar que la mayoría de los vehículos corresponden a camiones y camionetas, seguidos por las motoniveladoras. Cabe destacar que dentro del gráfico, no se hizo distinción entre los tipos de camiones.

Para agilizar la realización del proyecto y optimizar la búsqueda de información, se concentró el trabajo en aquellos vehículos eléctricos que abarcaran una mayor cantidad de faenas. Dichos vehículos se enlistan a continuación.

- Camioneta. Camión tolva.
- Camión plano. Camión aljibe.
- Camión regador de asfalto.
- Motoniveladora.
- Cargador frontal.
- Retroexcavadora.
- Rodillo vibratorio.
- Tractor desbrozador.
- Barredora.
- Rodillo neumático.

Con estos vehículos es posible cubrir el 80% de las faenas mapeadas. Además, dichas tipologías se traducen en aproximadamente 1280 equipos. De esta forma, también es posible realizar negociaciones con los proveedores de vehículos al realizar compras en grandes volúmenes. Además, se respetó la clasificación de vehículos en sus diferentes categorías: barcasas, maquinaria, equipo especial y vehículos (general).

1.3 Gastos de flota

Uno de los aspectos importantes a considerar es el gasto que realizan los vehículos y maquinarias diésel que conforman la flota actualmente. Para ello, se recibió un archivo con datos de vehículos de diferentes años y tipos. De acuerdo con los datos, se realizó un resumen de los tipos de vehículos presentes y sus gastos asociados.

Para financiar la adquisición de los equipos que se utilizan en las labores del MOP existen tres formas diferentes: mediante Convenios Marco, por licitaciones públicas o por fondos obtenidos de los gobiernos regionales. Para montos mayores a 14.000 UTM la solicitud debe tramitarse junto con la Contraloría General de la República.

Dentro de los gastos fijos por cada vehículo para todos los vehículos se tendrá el sueldo para los operarios y conductores, la ropa corporativa y elementos de protección personal, lo que se debe considerar constante por cada vehículo en operación. Los gastos fijos por cada vehículo de acuerdo con lo mencionado anteriormente son de CLP \$1.438.000. Este costo será proporcional a la cantidad de vehículos, considerando un conductor por cada vehículo.

Los gastos que varían dependiendo del vehículo corresponden al precio del vehículo, los gastos de combustible, los costos de mantención y los gastos por revisión técnica, permiso de circulación y seguro obligatorio. En la tabla siguiente se resumen los gastos dependiendo de los vehículos, basado en el archivo vinculado [2].

Tabla 1: Gastos promedio vehículos y MMNC diésel actuales MOP

Vehículos	Precio compra (CLP)	Total gastos combustible 2023 [CLP]	Costo Mantención [CLP]	Rev. Téc. - P. Circ. y Seguro [CLP]
Barredora	29.233.958	642.200	2.543.354	63.000
Camión aljibe	102.075.901	10.773.754	8.880.603	223.770
Camión bacheador	147.432.551	3.282.649	12.826.632	167.852
Camión combustible	55.303.739	7.769.312	4.811.425	176.403
Camión plano	36.495.574	3.562.419	3.175.115	137.839
Camión regador de asfalto	251.274.005	5.438.573	21.860.838	176.403
Camión tolva	51.006.763	5.718.813	4.437.588	236.819
Camión tracto	69.255.035	10.409.227	6.025.188	135.661

Vehículos	Precio compra (CLP)	Total gastos combustible 2023 [CLP]	Costo Mantenición [CLP]	Rev. Téc. - P. Circ. y Seguro [CLP]
Camioneta	16.660	2.434	1.449.428	296.053
Cargador frontal	115.111.176	1.783.237	10.014.672	59.313
Demarcador autopropulsado	98.475.185	678.693	8.567.341	59.313
Furgón laboratorio	28.057.525	1.427.997	2.441.005	323.003
Grúa horquilla	24.463.080	94.684	2.128.288	-
Minicargador	29.173.360	835.977	2.538.082	60.930
Motoniveladora	199.493.583	12.146.112	12.774.442	43.392
Pavimentadora de asfalto	146.618.969	5.292.939	12.755.850	63.000
Retroexcavadora	58.192.193	5.389.133	5.062.721	65.863
Rodillo neumático	100.896.913	4.190.188	8.778.031	59.313
Rodillo vib. dos tamb.	67.849.848	3.402.274	5.902.937	59.313
Rodillo vib. un tamb.	38.440.894	5.347.082	3.344.358	61.617
Station Wagon	12.434.942	3.862.448	1.081.840	63.000
Tractor desbrozador	93.849.581	4.831.966	8.164.914	59.313

En primera instancia sólo se muestran los datos recopilados, ya que en el próximo informe se mostrará el análisis de los gastos de los vehículos diésel versus los datos de los vehículos eléctricos. Los precios del combustible toman como referencia un valor de CLP \$1.065,0 por litro.

1.4 Mapeo conceptual de la operación

Dentro de las operaciones que se realizan con los diferentes vehículos y maquinarias del Ministerio de Obras Públicas, es posible separar en dos grandes grupos: maquinarias y vehículos. Dentro de la categoría de vehículos se contabilizan 922 unidades, donde se consideran camiones, station wagon, camionetas y minibuses. Todos los vehículos de esta categoría circulan por sus propios medios. Para el caso de las camionetas, se tiene una circulación promedio de 3.500 [km] por año. Por otra parte, dentro del grupo de maquinarias, se encuentran 1091 equipos, donde, a diferencia de los vehículos, existen 120 equipos que se trasladan a faena como carga de otro vehículo. El resto de los equipos se trasladan por sus propios medios.

En general, dentro de los vehículos que se trasladan por sus propios medios se tienen las camionetas, camiones (tolva, aljibe, grúa, tracto, plano, de combustible), motoniveladoras, retroexcavadora, station wagon, entre otros tipos, siendo un total de 51 tipologías que entran en esta categoría, las cuales engloban a 1633 equipos en total. En el otro grupo de vehículos se encuentran aquellos que deben ser transportados en remolques de plataforma baja. Dentro de estos se encuentran los cargadores frontales, los rodillos vibratorios, las grúas horquillas, los bulldozers oruga, la excavadora oruga, el minicargador, entre otros. Esta categoría contiene 352 vehículos agrupados en 15 tipologías de vehículos diferentes.

Los vehículos son almacenados en sitios fiscales, con algunas excepciones. Además, se tiene un stock de vehículos agrupados por provincia, siendo cada provincia el límite para su circulación con excepción de los vehículos que se encuentran en parques regionales, los cuales circulan por diferentes provincias. Además de las provincias correspondientes, la zona de circulación de los equipos es la red vial generalmente, ya que fuera de esta hay problemas por el uso de recursos públicos. Otra información relevante para considerar de la operación es la jornada de trabajo. Los vehículos se encuentran detenidos durante 13 horas antes de trasladarse a faena. El personal trabaja con los equipos desde 9:00 a 17:00 horas en trabajos normales; no se realizan jornadas de trabajo de 24 horas a excepción de emergencias. Los recorridos de los equipos desde la base de resguardo hasta la faena donde se realiza la operación tienen una duración que se encuentra entre los 60 y 90 minutos, generalmente.

El personal trabaja con los equipos desde 9:00 a 17:00 horas en trabajos normales; no se realizan jornadas de trabajo de 24 horas a excepción de emergencias. Los recorridos de los equipos desde la base de resguardo hasta la faena donde se realiza la operación tienen una duración que se encuentra entre los 60 y 90 minutos, generalmente.

Para determinar si es posible la electrificación de ambos grupos de vehículos es necesario considerar aspectos como los costos, planificar una estrategia de carga acorde a cada tipo de vehículo, considerar la oferta de mercado en Chile (idealmente, para tener soporte y una rápida respuesta en caso de problemas con los equipos), tener en cuenta el horario de trabajo y los horarios de descanso para evaluar el tiempo operativo requerido de los equipos, que se cumplan las especificaciones técnicas necesarias para la operación y, para el caso de los vehículos que se transportan por sus propios medios, considerar la autonomía de los mismos.

En cuanto a la autonomía de los vehículos eléctricos que se transportarán por sus propios medios hasta el lugar de operación, se analizó el recorrido real de un cargador frontal con motor diésel a partir de su localización en el tiempo en un periodo de 6 meses [3]. Gracias a esta información se pudieron determinar diferentes viajes realizados por el vehículo, los cuales se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2: Información de viajes cargador frontal.

Ubicación de inicio	Ubicación de llegada	Distancia recorrida [km]	Días
Melipilla	San Francisco	139,0	22
San Francisco	Pudahuel Sur	67,7	8
Pudahuel Sur	Curacaví	21,7	3
Curacaví	Pudahuel Norte	45,5	16
Pudahuel Norte	Isla de Maipo	59,5	2
Isla de Maipo	Pudahuel Norte	59,5	20
Pudahuel Norte	Curacaví	45,5	3
Curacaví	Quilicura	40,6	1
Quilicura	Pudahuel Norte	20,8	1
Pudahuel Norte	Curacaví	43,8	2
Curacaví	Quilicura	40,6	19
Quilicura	Curacaví	43,8	23
Curacaví	Paine	91,2	1
Paine	Curacaví	92,6	5
Curacaví	Paine Oeste	112,0	1
Paine Oeste	Curacaví	112,0	1
Curacaví	Buin	32,9	1
Buin	Paine Oeste	35,7	2
Paine Oeste	Curacaví	106,0	34

A partir de los datos mostrados anteriormente, se puede observar que existen casos en que las distancias superan los 100 [km]. A partir de esta tabla y considerando las autonomías de los vehículos que se trasladan por sus propios medios, se puede concluir que todos cumplirían con la autonomía necesaria para realizar viajes como los que se extrajeron de la información recibida.

Para contextualizar los datos en un caso real, se utilizó un caso de ejemplo de un camión eléctrico, el cual cuenta con una batería que tiene capacidad de almacenar 282 [kWh].

Distancia recorrida (Km)

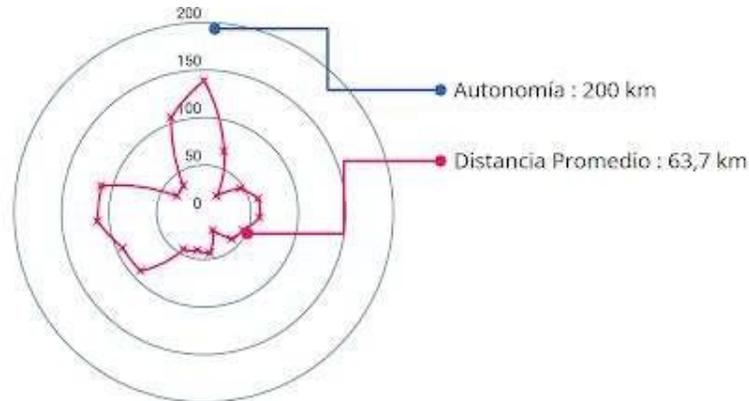


Figura 2: Cobertura de viajes de un camión con autonomía de 200 [km].

Además, si se trabaja con las distancias analizadas en la Tabla 2, se puede obtener una distancia recorrida promedio de 63,7 [km]. En base a este promedio se puede generar un caso donde se optimice el uso de la batería para reducir los costos del vehículo a partir de las diferentes configuraciones de baterías que se pueden solicitar al fabricante (solicitar un vehículo con una batería de menor capacidad permite, además, reducir el costo del producto). En este caso, como el requerimiento de energía promedio de la batería es de 99,8 [kWh], se puede reducir la capacidad de la batería, adaptando los requerimientos según el tipo de faena y la ubicación del vehículo, lo que requeriría una planificación previa para organizar los ciclos de carga del vehículo y los viajes a realizar para estar disponible en el caso de ser requerido.

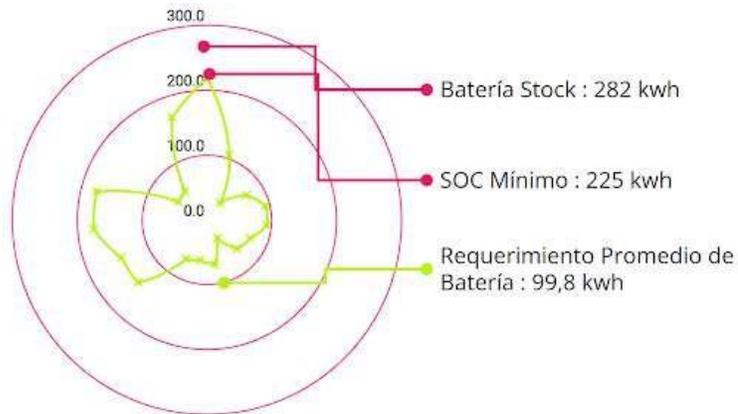


Figura 3: Requerimiento de batería según Tabla 2.

2. Mapeo mercado proveedores

La investigación de proveedores de vehículos y MMNC eléctricas se centró, principalmente, en empresas con distribuidores de vehículos homologados en Chile. Los proveedores contactados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3: Proveedores de vehículos y MMNC eléctricas.

Proveedor	Marca	Presencia en Chile	Tipo de vehículo	Disponibilidad de envío
Ammann	Ammann	No	Rodillos	No
Andes Motor	Foton	Sí	Camiones	Sí
	Maxus	Sí	Camiones	Sí
			Camionetas	Sí
	Sany	Sí	Excavadoras oruga	Sí
			Cargadores frontales	Sí
			Tractocamiones	Sí
			Camiones	Sí
Iveco	Sí	Tractocamiones	No	
Aquapress	Aquapress	Sí	Barredoras	Sí
Dercomaq	Everun	No	Excavadoras oruga	No
			Cargadores frontales	No
			Camiones	Sí
	JCB	Sí	Excavadoras oruga	Sí
EV Solutions	Maxus	Sí	Camiones	Sí
Fullen	Fullen	Sí	Montacargas	Sí
			Cargadores frontales (mini)	Sí
Hamm	Hamm	No	Rodillos	Sin información
HBM - NOBAS	HBM - Nobas	No	Motoniveladoras	Sí

Proveedor	Marca	Presencia en Chile	Tipo de vehículo	Disponibilidad de envío
Heli Forklift Chile	Heli	Sí	Montacargas	Sí
Janssen	Case	Sí	Excavadora	Próximamente
			Miniexcavadora	Próximamente
	Dynapac	Sí	Retroexcavadoras	No
			Rodillos	No
			Montacargas	Sin stock
Mitsubishi	Sí	Montacargas	Sí	
JMC	TCM	Sí	Montacargas	Sin stock
Camiones	JMC	Sí	Camiones	Sí
JMC Autos	JMC	Sí	Camionetas	Sí
Jungheinrich	Jungheinrich	Sí	Montacargas	Sí
Kaufmann	Freightliner	Sí	Tractocamiones	No
	Fuso	Sí	Camiones	Sí
	Mercedes Benz	Sí	Camiones	Sí
LEMACO	Ammann	Sí	Rodillos	Sí
Pression	Wolf	Sí	Barredoras	Sí
	Fiorentini	Sí	Barredoras	Sí
Rembrak	Wacker Neuson	Sí	Rodillos	No
Sauber	Hako	Sí	Barredoras	Sí
	Sauber	Sí	Barredoras	Sí
Salfa	John Deere	Sí	Retroexcavadora	No
	Hamm	Sí	Rodillos	No
Sinomach	Sinomach	No (China)	Excavadora	Sí

Proveedor	Marca	Presencia en Chile	Tipo de vehículo	Disponibilidad de envío
SKC	Kenworth	Sí	Tractocamiones	Sin respuesta
	Peterbilt	Sí	Tractocamiones	Sin respuesta
SOCMA	SOCMA	No	Montacargas	Sí
		No	Cargadores frontales	Sí
Tattersall	Hyster	No	Montacargas	No
	Liugong	Sí	Cargador frontal	Sí
Vivipra	King Long	Sí	Tractocamiones	
Volvo	Volvo	Sí	Camiones	No
		Sí	Tractocamiones	No
Voltera Chile	Voltera	Sí	Camiones	Sí
		Sí	Camionetas	Sí
Worldmaq	Dynapac	Sí	Rodillos	No
XCMG	XCMG	Sí	Excavadoras oruga	No
		Sí	Cargadores frontales	No
Yutong Chile	Yutong	Sí	Camiones	No

La tabla anterior contempla sólo vehículos y MMNC eléctricos. Para tenerlos presentes, se agregaron casos en que la marca no está presente en Chile ni tampoco realizan envíos al país. En base a lo conversado con las empresas de estos casos, no se contempla el ingreso de dichas marcas a corto plazo. En algunos casos, como en la empresa HBM-Nobas, no se tiene un servicio técnico específico en Chile, sin embargo, pueden realizar envíos de la maquinaria para implementarlas en el proyecto. Se recomienda trabajar con aquellas empresas que tienen servicio técnico presente en Chile para asegurar la continuidad de las labores y así no detenerlas por un largo periodo de tiempo en caso de que se presente una falla en el equipo.

Se investigó también la posibilidad de integrar vehículos de proveedores ubicados en China, pero se descartaron por la misma razón descrita anteriormente. Para este proyecto, se recomienda dar prioridad de adquisición a las empresas que se encuentran en Chile y que tienen servicio técnico en el territorio nacional.

Dentro de la investigación sobre los vehículos, un punto importante a tener en cuenta es el servicio postventa, lo que incluye información sobre disposición de repuestos y de servicio técnico. En general, las empresas nacionales cuentan con espacios físicos que permiten tener asistencia técnica inmediata. La información adicional que agregaron algunas empresas se muestra a continuación.

- Janssen: tienen servicio de renta de maquinaria, por lo que tener disponibilidad de repuestos y ser minuciosos en el mantenimiento es una prioridad para ellos.
- ZEV: cuentan con una oficina técnica nueva que tiene stock de repuestos y también con centrales de repuestos propias que Yutong pone a disposición de la empresa.
- Andes Motor: cuentan con lugares físicos tanto como con stock de repuestos en diferentes sucursales, respaldados por el grupo Kaufmann.
- Fullen: cuentan con servicio técnico a lo largo de Chile, con servicio en terreno y venta de repuestos. Casa matriz ubicada en Pudahuel y sucursal en Antofagasta y Mejillones.
- Worldmaq: cuentan con servicio técnico propio, mecánicos con vasta experiencia en rodillos vibratorios. Además, según la información proporcionada, cuentan con un amplio stock de repuestos.
- Shantui: disponibilidad para enviar técnicos a Chile en caso de ser necesario. No disponen de espacio físicos propios para realizar las mantenciones.
- SOCMA: disponibilidad para enviar técnicos a Chile en caso de ser necesario. No disponen de espacio físicos propios para realizar las mantenciones. Además, en el caso de SOCMA, mientras dure la garantía, se realiza una visita anual para chequear el estado del equipo y realizar la mantención. En caso de ser necesario algún repuesto, este se envía a Chile libre de cargos.

3. Información vehículos y MMNC

En este capítulo se abordará el resumen de la información de los vehículos y maquinaria eléctricos del mercado que se ha encontrado hasta la fecha, pertenecientes al listado de vehículos utilizados en las faenas¹.

En el punto 9.1 del anexo, se mostrarán los datos generales de los vehículos que se han mapeado hasta la fecha, agrupados por tablas según el tipo de vehículo, en las cuales se puede observar información relacionada a la capacidad de carga, peso y el precio en dólares. Además, es de vital importancia considerar parámetros para electrificar una flota de vehículos, tales como la autonomía, capacidad de batería y el estándar en los vehículos que corresponda, entre otros datos. La elección de un vehículo, además de depender de la capacidad de realizar el trabajo y tener un precio que se ajuste al presupuesto, depende de la factibilidad de carga y movilidad del vehículo, entre otros aspectos que se deben analizar del área de electromovilidad. El análisis de los datos en comparación con su contraparte diésel se detallará a lo largo del informe.

Para resumir la información de mercado dada en las tablas que se encuentran en el **Anexo**, se puede observar la Tabla 4 mostrada a continuación.

Tabla 4: Información promedio de vehículos y MMNC.

Tipo de vehículos	Total encontrados	Peso promedio (kg)	Capacidad de batería promedio [kWh]	Precio promedio [USD]
Camiones chasis- cabina	19	3946	134,40	117.500
Camiones tolva	2	18.350	339,00	274.350
Tractocamiones	22	10.200	406,18	299.960
Camionetas	3	3.338	75,20	46.297
Rodillos vibratorios	4	2.453	23,28	-
Barredoras	8	663	11,56	19.363
Excavadora oruga	2	13.700	525,00	368.000
Miniexcavadora oruga	2	1.501	12,20	-
Montacargas	25	4.153	45,80	46.725

¹ Las conversaciones con los oferentes de vehículos siguen en curso, por lo que, en algunos casos, los datos se encontrarán incompletos mientras se espera la respuesta de los proveedores. La actualización de los datos será proporcionada en futuras versiones del documento.

Tipo de vehículos	Total encontrados	Peso promedio (kg)	Capacidad de batería promedio [kWh]	Precio promedio [USD]
Cargadores frontales	4	19.068	299,00	209.400
Minicargadores frontales	6	3.221	50,30	79.142
Motoniveladoras	2	840	325,00	880.000

Con respecto a la tipología de los vehículos que tienen un recuento total mayor a 10 y que no se mencionan anteriormente, no se encontró oferta eléctrica en Chile. Para un resumen gráfico de la información, dirigirse al punto 15.2 en el **Anexo**, donde se pueden verificar diferentes gráficos relacionados a los datos de los vehículos encontrados.

Con respecto a los demás vehículos, se detalla el caso de algunos en el siguiente listado:

- Bulldozer oruga: Se encontró un modelo marca Shantui, fabricado en China. Existen dos modelos con diferentes capacidades, cuyos valores se encuentran entre 233.000 USD y 445.060 USD. Dichos valores no incluyen costos de envío.
- Tractor desbrozador: Se encontró un tractor eléctrico marca Farmtrac, pero no posee herramienta desbrozadora.
- Camión aljibe, camión combustible: Proveedores de camiones como el grupo Kaufmann, Andes Motors, EV Solutions y ZEV, tienen la posibilidad de adaptar los camiones chasis-cabina al formato necesario (valores dependen de las especificaciones técnicas de las variaciones).

Finalmente, para evaluar correctamente la factibilidad de electrificación de cierta tipología de vehículos, es necesario analizar, entre otros, los datos de la Tabla 4. Se recalca que el análisis exhaustivo de factibilidad se detalla en los siguientes capítulos, a partir de la sección 8.

Para planificar correctamente la compra de vehículos del proyecto, es importante tener en cuenta los siguientes ingresos de vehículos al mercado chileno. Se consultó con los diferentes proveedores sobre este tema y las respuestas obtenidas se muestran a continuación:

- Andes Motor
 - [2024] Camión mixer de 8 [m3].
 - [2024] Excavadora SY375E de 37,5 ton de peso operacional y balde de 2,1 m3.
- Janssen:
 - [2024] Miniexcavadora CX25EV de 2 [ton].
 - [2024] Excavadora CL36EV de 3,6 [ton].

- ZEV:
 - [2024] Camión tracto, camión tolva y camión minero.
- SANY:
 - [2024] Excavadora SY375E de 37,5 [ton] de peso operacional, con balde de 2,1 [m3].
 - {2024} Portacontenedores 45 [ton] de capacidad de carga máxima.
- XCMG:
 - [2024] Cargador Frontal Forestal Modelo LW300KV. [2024] Cargador Frontal Modelo LW800KV.
- Fullen:
 - Grúa horquilla de 3 y 3,5 [ton].
- Voltera
 - [2024] R6 4x2 con mayor autonomía. [2024] R6 4x4 y R7 4x4.

4. Infraestructura de carga

Parte importante de la electrificación de una flota, además de cambiar los vehículos, es dimensionar y planificar el sistema de carga de la misma maquinaria. Para ello, se investigaron y se detectaron los principales proveedores e instaladores de infraestructura de carga de vehículos eléctricos.

4.1 Oferta de mercado

Dentro del mercado de infraestructura de carga de vehículos eléctricos se pueden encontrar diferentes etapas o procesos en los cuales las empresas se pueden involucrar. Estos procesos pueden ser la fabricación de la infraestructura, la instalación de equipos, la venta de equipos (proveedores), la mantención y el financiamiento de proyectos. Es posible elegir una o varias empresas según sea adecuado para el proyecto. Es importante considerar que las empresas que se involucran en el mercado muchas veces no abarcan todas las etapas o procesos que se necesitan para realizar una infraestructura de carga de vehículos eléctricos operativa.

Las empresas que ofrecen servicios relacionados a la realización de infraestructura de carga en el mercado chileno que se han mapeado hasta la fecha, se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 5: Empresas que realizan infraestructura de carga de vehículos eléctricos en Chile.

Segmento Carga (Rápida, Media y Lenta)	Empresa	Instala	Fabrica	Proveedor Equipos	EPC	Financia	Experiencia
Rápida, Media y Lenta	Enex				X	X	Media/Baja
Rápida, Media y Lenta	Saesa				X		Media/Baja
Rápida, Media y Lenta	Colbun				X	X	Media/Baja
Rápida, Media y Lenta	Grupo imelsa				X		Media/Baja
Lenta	Thunder			X	X		Media/Baja
-	Evolusun				X		Media/Baja
-	Inergia				X		Media/Baja
Lenta	Emovi	X					Media/Baja
Rápida y Media	Ingeteam	X			X		Media/Baja

Segmento Carga (Rápida, Media y Lenta)	Empresa	Instala	Fabrica	Proveedor Equipos	EPC ²	Financia	Experiencia
Lenta	Echarge	X		X			Media/Baja
Lenta	Enérgica City		X				Media/Baja
Rápida, Media y Lenta	Voltera			X			Media/Baja
Rápida y Lenta	Copec Voltex			X	X	X	Media/Alta
Rápida, Media y Lenta	KPN			X	X		Media/Alta
Rápida, Media y Lenta	Sisercom	X			X		Media/Alta
Rápida, Media y Lenta	ABB		X	X			Media/Alta
Rápida, Media y Lenta	Circontrol		X	X			Media/Alta
Rápida, Media y Lenta	Siemens		X	X			Media/Alta
Lenta	Wallbox		X	X			Media/Alta
Rápida	Dhemax		X		X		Media
Rápida, Media y Lenta	Temob	X		X	X		Media
Rápida, Media y Lenta	Blink			X			Media
Rápida, Media y Lenta	Schneider		X	X			Media
Media y Lenta	Enerquinta				X		Baja
Rápida, Media y Lenta	Enel X		X	X	X	X	Alta

Es importante tener en cuenta el modelo de negocio que se adoptará para financiar el proyecto. En general, se puede dividir en dos grandes grupos según el tipo de empresa oferente: oferentes PyME y grandes oferentes.

² Se clasifican las empresas como EPC a aquellas que tienen la capacidad de diseñar, adquirir, comprar, implementar y mantener. De igual manera, se define también a algunas empresas como EPC+F, las cuales tienen la capacidad de, además, financiar los proyectos.

Para el caso de los oferentes PyME, es necesario considerar, además, la potencia que se requiere para los proyectos y la experiencia de la empresa que realizará la infraestructura de carga. En la Figura 4 se tiene un gráfico por cuadrículas que permite vincular la información de las empresas que pueden dar soluciones a PyMEs con respecto a la experiencia en proyectos de electromovilidad y capacidad de potencia para las soluciones. En los gráficos que se muestran a continuación, cuando se menciona la experiencia de las empresas en proyectos, se hace referencia a la cantidad y magnitud de instalaciones de infraestructura de carga para la electromovilidad que han llevado a cabo por las mismas (no se referencia a la experiencia en fabricación de componentes de infraestructura o relacionados).

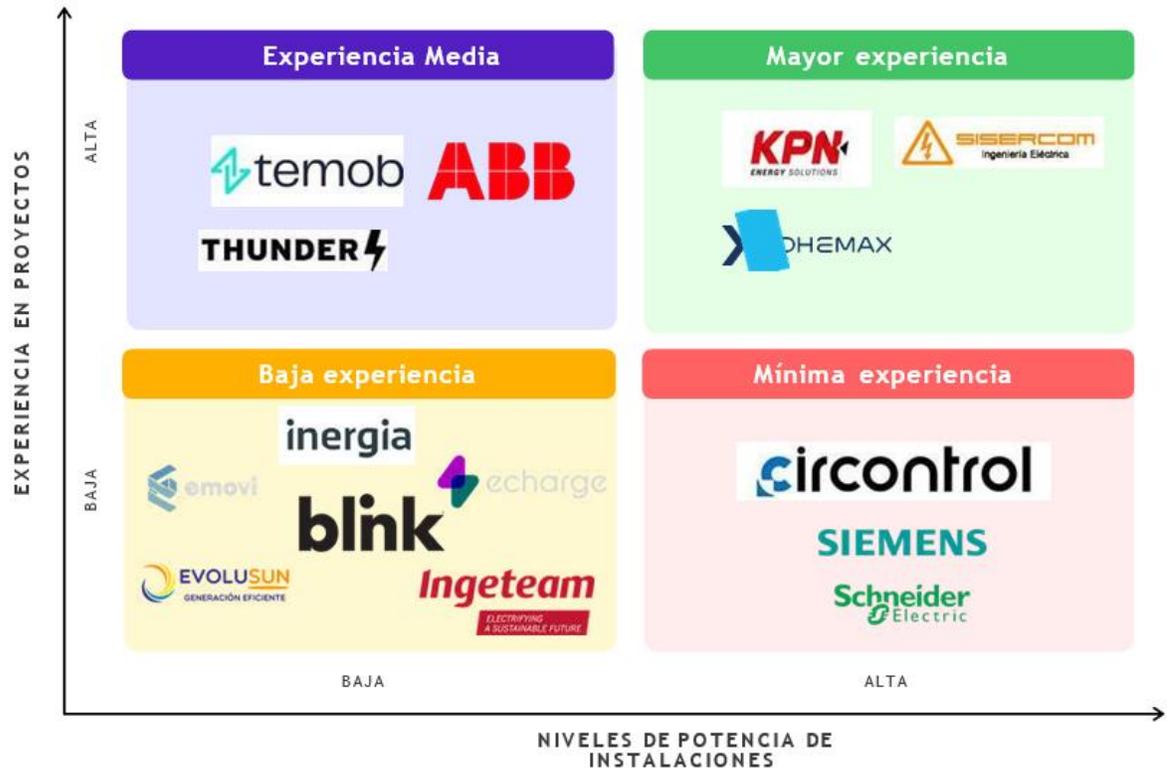


Figura 4: Clasificación de empresas de infraestructura de carga según experiencia y niveles de potencia.

Así también, existe el modelo de negocios para grandes empresas, donde se debe tener en cuenta, a diferencia del caso de las PyME, es necesario considerar la capacidad de financiamiento para los proyectos. La Figura 5 que resume y vincula la experiencia en proyectos de electromovilidad y la capacidad de financiamiento se muestra a continuación. Las empresas mostradas en la Figura 5 no se excluyen de la Figura 4, sino que es un anexo para el caso de grandes proyectos.

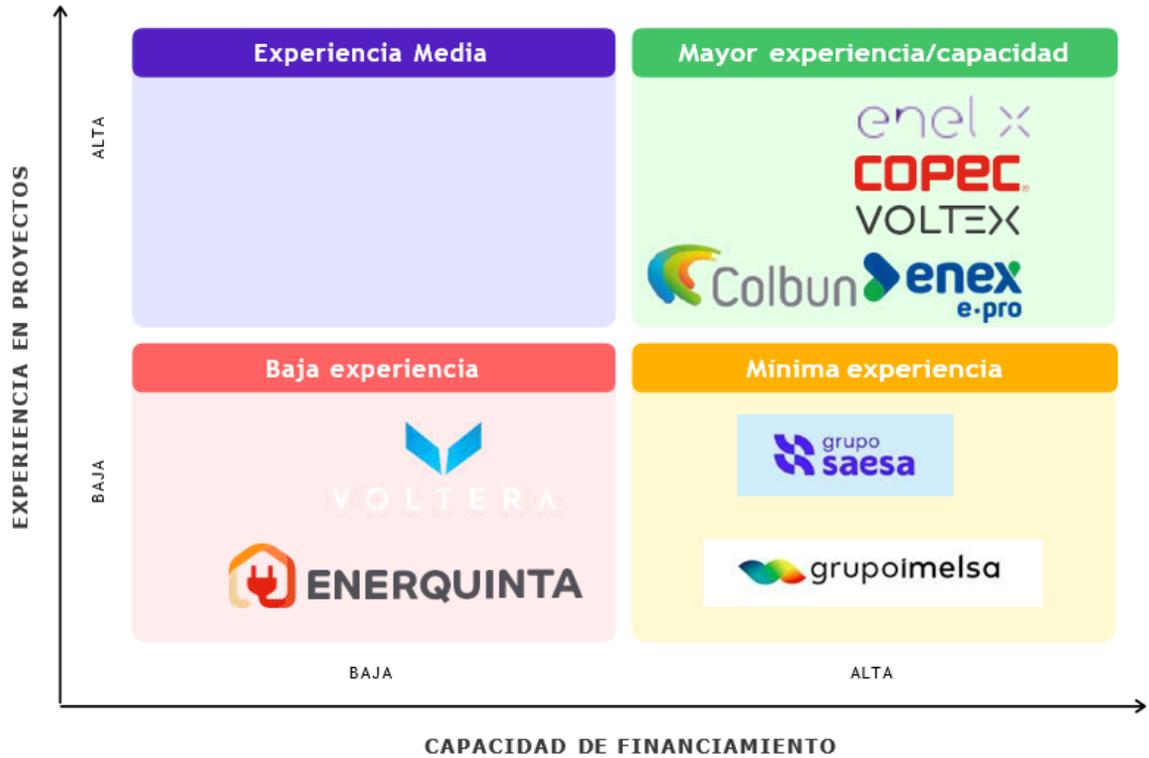


Figura 5: Clasificación de empresas de infraestructura de carga según experiencia y capacidad de financiamiento.

4.2 Banco de carga

Los bancos de carga o powerbank, son unidades portátiles que permiten almacenar energía eléctrica y entregarla cuando se requiera. Este tipo de dispositivos son esenciales para la carga de equipos eléctricos cuando no existe disponibilidad de carga en la infraestructura eléctrica, en zonas más remotas. En este caso, los dispositivos permitirían realizar la carga de los equipos vitales para la operación y de esta forma mantener la continuidad en la operación. Se plantea que los bancos de carga sean cargados en la base provincial para que posteriormente sean transportados hasta el lugar donde opera la maquinaria que se queda en faena hasta terminar el proyecto. De esta forma, se podría energizar constantemente la maquinaria pesada de la faena y no se tendría que utilizar el transporte mediante camiones con rampla tipo cama baja todos los días, sino al inicio y al final de la obra.

Para el caso del proyecto piloto, se buscaron bancos de carga que tuvieran capacidades cercanas a los 400 [kWh], ya que esta capacidad sería suficiente para mantener activa la maquinaria en faena. Considerando lo señalado anteriormente, se muestran las características de los bancos de carga encontrados en el mercado en la Tabla 6.

Tabla 6: Oferta de unidades de almacenamiento de energía.

Marca	Tipo	Capacidad [kWh]	Potencia para cargadores [kW]	Precio [millones de CLP]
SDS	Carro de arrastre	360	1 x 90 x 3 x 60 ³	\$229
Copec Voltex	Carro de arrastre	400	1 x 150	\$350
SIGREEN	Carro de arrastre	320	2 x 160	\$133

Con respecto a la tabla anterior es importante considerar que la oferta de Copec Voltex es un precio aproximado, ya que es un valor referencial para un producto que todavía no está abierto al mercado (el precio y las características fueron estimadas en base al requerimiento). Además, la empresa SIGREEN tiene dentro de sus proyectos a corto plazo incluir en su catálogo una unidad de almacenamiento de energía para cargar maquinaria y vehículos pesados que viene montada en un camión eléctrico para facilitar su transporte. Esta unidad cuenta con 350 [kWh] de almacenamiento y con dos conectores para cargar a una potencia de 160 [kW]. El precio aún no está definido.

³ Se considera un cargador con una manguera de 90 kW y 3 mangueras de 60 kW

5. Oferta financiera

A pesar de que la electromovilidad en Chile aún no está masificada, muchas empresas apuestan por ella de camino al futuro. Es por ello que existen proveedores financieros con fondos específicos para electromovilidad. Para proyectos de grandes envergaduras, es necesario considerar un respaldo financiero que permita realizar la inversión. En la siguiente tabla se puede ver la información resumida de proveedores financieros para vehículos eléctricos y las características generales de su servicio.

Tabla 7: Oferta de mercado de financiamiento de vehículos eléctricos en Chile.

			Experiencia	Tasa base	Tasa de interés
Vehículos mayores	Banca	Santander	Baja	UF	5 a 6%
		Banco Estado	Baja	UF	
		BCI	Baja	UF	
		Itaú	Baja	UF	
Vehículos menores	Leasing	Gama	Alta	UF	N/A
		EV Solutions	Alta	UF	
		Arval Relsa	Alta	UF	
		Mitta	Alta	UF	
		Tattersall	Alta	UF	
Vehículos mayores	Empresas	Vivipra	Media	Pesos	16%
		Yutong	Media	Pesos	11-13%
		Enel X	Alta	UF	>8%

Además, algunos proveedores de vehículos cuentan con opciones adicionales de financiamiento: Andes Motors cuenta con financiamiento a través de BK Servicios Financieros, empresa del grupo Kaufmann; XCMG permite optar a un financiamiento directo a través de su socio XCMG Finance; Janssen cuenta con alternativas de leasing y a la fecha de emisión del informe, cuenta con 12 cuotas precio contado. Por otra parte, existen empresas que permiten financiamiento específico para realizar los servicios de carga de los vehículos (infraestructura de carga). La tabla siguiente muestra el resumen de las empresas.

Tabla 8: Oferta de mercado de financiamiento de infraestructura de carga para vehículos eléctricos en Chile.

			Experiencia	Tasa Base	Tasa de interés
Servicio de carga	Empresas	Enel X	Alta	Alta	>8%
		Copec Voltex	Alta	Alta	Sin información
		Shell New E	Baja	Baja	
		Colbún Efizity	Baja	Baja	

Es importante mencionar que las entidades bancarias no proveen de planes específicos de financiamiento para infraestructura de carga hasta el momento, sólo para vehículos. Es posible que esto pueda cambiar a futuro junto con la masificación de la electromovilidad en Chile.

6. Aspectos generales de electromovilidad

Antes de comenzar con el análisis técnico del proyecto, es necesario definir los límites legales y normativos en donde se debe enmarcar el proyecto. Además, se muestran como referencias algunos casos de electrificación de vehículos y maquinarias de construcción en el mundo y en la industria de Chile.

6.1 Normativa y regulación

En Chile, para obtener información sobre electromovilidad existe un sitio web dedicado a ello, llamada “Plataforma de Electromovilidad”. En esta poderosa herramienta se encontrarán diversos detalles sobre las organizaciones, vehículos y también sobre normativas y toda la legislación asociada. En la base de datos del portal no se encuentra contemplada la maquinaria pesada que debería implementarse en el proyecto. Sin embargo, existen normativas y metas generales del gobierno que se deben considerar, ya que influyen directamente en la composición vehicular del proyecto que se está planificando.

Existe una nueva norma de reducción de emisiones que entrará en vigencia en octubre del año 2024, donde Chile se compromete a no sobrepasar las 1.100 [MtCO₂eq] en emisiones, entre el 2020 y 2030 [4]. Además, es importante tener en cuenta las metas del gobierno para electrificar vehículos del transporte público en un 100% al año 2040 [5]. En cuanto a la maquinaria forestal, de construcción y agrícola, se establece como meta que el 100% de las ventas de este tipo de vehículos sea eléctrica al mismo año. Se planea que la meta del total de las ventas se ejecute en dos grandes pasos: para el 2035 con las maquinarias fuera de ruta⁴ con potencia mayor a 560 kW y para el 2040 con aquellas de potencia superior a 19 [kW] [6]. Además, se tienen fechas límite en el mercado para la venta de vehículos diésel. Para el 2035 se espera que el 100% de las ventas de vehículos contaminantes, ya sea menores, transporte público y maquinaria móvil mayor se elimine. El mercado tiene como meta ser 100% cero emisiones al 2050 [7].

Por otra parte, es de vital importancia que los vehículos que se adopten en el proyecto estén debidamente homologados en el Ministerio de Transportes de Chile. La homologación se realiza para aquellos vehículos livianos y medianos, además de motocicletas, pero no para maquinaria de construcción [8].

Otra de las leyes que se han promulgado en el último tiempo para promover el crecimiento de la electromovilidad en Chile, es la Ley 21.505. Esta ley exenta del pago del permiso de circulación a todos aquellos vehículos eléctricos durante los primeros dos años desde su compra. Posteriormente, el costo del permiso aumentará paulatinamente desde un 25% a un 75% en un plazo de 2 a 8 años luego de la

⁴ Maquinaria Fuera de Ruta (MFR) término utilizado en Chile o Maquinaria Móvil No de Carretera (MMNC) en otros lugares, es aquella maquinaria utilizada en construcción que tiene la capacidad de desplazarse por sí sola.

compra. El propósito de ello es fomentar el almacenamiento de energía eléctrica para que la energía generada no sea desperdiciada [9].

En cuanto a la regulación de la infraestructura de carga, la principal norma que regula instalaciones de infraestructura de carga de vehículos eléctricos es el documento de normativa técnica RIC N° 15, siendo la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) la entidad encargada de desarrollar y definir los lineamientos de la instalación eléctrica de cargadores.

En el documento comienza con la definición de conceptos relacionados a la electromovilidad, y aborda temas como el tipo de carga según el lugar donde se instale la infraestructura de carga para vehículos eléctricos, entre otros. Es importante tener en cuenta lo establecido en el documento a la hora de realizar el diseño de la infraestructura de carga, ya que si no se respeta, la instalación no será aprobada por la SEC por lo que podría retrasar la puesta en marcha del proyecto.

Es importante mencionar además que cualquier vehículo eléctrico debe respetar las leyes de tránsito actuales, tales como la clasificación de los vehículos, pesos máximos, características de seguridad, de conducción, entre otras. Un posible problema, dependiendo de los fabricantes de vehículos/maquinaria eléctrica es el peso por eje de los vehículos. La mayoría de los vehículos mapeados que no requieren de traslado en cama baja, cumplen con las condiciones necesarias para circular en las carreteras. Además, es importante considerar la homologación de cada uno de los vehículos, es decir, que esté aprobado por el Ministerio de Transportes para que pueda ser vendido en Chile.

6.2 Estatus de la industria

La electromovilidad en el mundo es un tema cada vez más desarrollado debido a los grandes beneficios que conlleva el desarrollo de esta tecnología. Muchas ciudades, tales como Barcelona, Oslo, Copenhague, Viena, Stuttgart, Estocolmo y Helsinki, han dado el paso inicial a electrificar flotas de vehículos y maquinarias que realizan trabajos públicos.

6.2.1 Caso Barcelona

En el caso de Barcelona, se han realizado pruebas piloto de maquinarias eléctricas para reemplazar las canalizaciones de las calles [10]. En este proyecto se utilizaron diferentes vehículos eléctricos como una miniexcavadora, un martillo neumático, una carretilla eléctrica, una batería portátil y una tolva eléctrica de 1500 [kg].

Para la carga de los vehículos se desarrolló un proyecto piloto que utilizó la red pública de electromovilidad y la adaptó para realizar la carga de este tipo de vehículos [11]. También se utilizó una batería portátil en terreno para la recarga de los vehículos bajo demanda. En este proyecto se redujo el consumo energético a una séptima parte, las emisiones de CO₂ se redujeron a una tercera

parte, el ruido se redujo a la mitad y se obtuvo una eficiencia de los vehículos eléctricos similar a la de su contraparte diésel [12].

Como referencia, se adjunta una fotografía del sitio donde se realizaron los trabajos y las maquinarias eléctricas utilizadas.



Figura 6: Fotografía de las obras realizadas en Barcelona [10].

A diferencia del caso anterior, en el Ministerio de Obras Públicas se utilizarán en su mayoría vehículos de grandes capacidades, como excavadoras de 20 toneladas y tolvas con más de 20 toneladas de carga útil. En cuanto a los procesos de carga, en Chile todavía no se masifica la implementación de cargadores públicos, por lo que no se podría implementar la carga de la misma forma que en Barcelona. Sin embargo, es posible crear una infraestructura de carga en terreno propio del Ministerio y que permita ser utilizado por la comunidad en horarios definidos.

6.2.2 Caso Ontario

Se tienen registros también de una empresa minera en Canadá, Ontario, llamada Goldcorp, que convirtió sus operaciones mineras en 100% eléctricas [13]. Esto con el fin de reducir los costos operacionales, aumentar la seguridad en las obras y eliminar la emisión de gases contaminantes generados por los vehículos, lo que conlleva a una mejora en la ventilación de la mina subterránea.

Considerando que el mercado de vehículos eléctricos no está totalmente desarrollado hasta el día de hoy, el mayor reto de la conversión fue adecuar vehículos para realizar las labores necesarias. Es por esto que se asociaron con dos empresas que convierten vehículos y maquinarias diésel a eléctricos [14]. El plan de reemplazo comenzó con la maquinaria, luego por los vehículos de transporte de pasajeros y los camiones de transporte de mineral al final.

En este caso, se puede rescatar la conversión de una motoniveladora diésel a eléctrica. Los principales beneficios de este proyecto fue la reducción de costos operacionales, ya que, a pesar de haber gastado más dinero en la inversión inicial, se reducen los costos de mantenciones de los vehículos. Estos resultados son los que también se esperan obtener en el proyecto que se está trabajando, ya que, como se verá más adelante, los costos de las motoniveladoras eléctricas son altos en comparación a las motoniveladoras diésel. Además, la reenergización de los vehículos se realizó mediante cargadores, evitando tener que cambiar las baterías [15]. Los vehículos en este caso se mantienen dentro de la mina (mismo lugar de carga) y no son transportados fuera de la zona, a diferencia de lo que ocurriría en el MOP, donde no existirían subestaciones de carga en las faenas, por lo que se debería cargar el vehículo en la base provincial o utilizando un banco de carga móvil.

A continuación, se muestra una imagen referencial de la máquina adquirida por la empresa Goldcorp para realizar sus labores.



Figura 7: Fotografía de la maquinaria utilizada en la mina de Canadá [13].

6.2.3 Caso Oslo

Existe además un caso específico que se asemeja operacionalmente al Ministerio de Obras Públicas de Chile. La Municipalidad de Oslo, donde se llevó a cabo el primer proyecto de construcción de cero emisiones del mundo, utilizando excavadoras totalmente eléctricas [16]. El proyecto consistió en convertir una parada de taxis en paso peatonal, por lo que se necesitaron diferentes excavadoras, entre ellas una de 8.000 [kg] y una excavadora de 16.000 [kg]. Además, también se utilizó un cargador frontal con ruedas [17].

Estos vehículos son más cercanos al caso del MOP, por lo que se podrían asemejar los resultados de sostenibilidad obtenidos con estos vehículos a lo que se obtendrá en algunas faenas que involucren este tipo de vehículos. Con respecto a esto, durante el proyecto se ahorraron cerca de 35.000 litros de diésel, lo que equivale a una cifra cercana a 92.500 [kg] de CO2 emitido [18]. Como referencia del proyecto, se adjunta una fotografía del tipo de maquinaria utilizada en las labores mencionadas.



Figura 8: Fotografía de la maquinaria utilizada en las obras de Oslo [18].

En cuanto a la carga de los vehículos, se menciona lo siguiente: “Las excavadoras eléctricas pueden funcionar tanto en modo de batería como de cable. Tienen un cargador a bordo y se pueden cargar en un tablero de distribución en el lugar de trabajo a través de una toma de corriente trifásica CEE estándar. La excavadora ZE85 utilizada en Oslo tiene una conexión de carga de CC que reduce el tiempo de carga a tres cuartos de hora” [19]. En comparación con el MOP, es importante destacar que algunas faenas se realizan en lugares donde no existe conexión eléctrica disponible para realizar una carga adecuada para los vehículos, por lo que la opción de utilizar cargadores móviles es lo que se podría adecuar a las necesidades de este proyecto.

6.2.4 Caso Copenhague

En Copenhague, también se realizó un proyecto para construir canalizaciones de cables eléctricos bajo el área peatonal de la ciudad. En este procedimiento se utilizó una excavadora mini de 1.500 [kg], una mini tolva de 1.500 [kg] de carga útil, una plancha vibratoria y un vibroapisonador a batería. En este caso, al igual que el anterior, no es posible comparar directamente con las faenas que realiza el MOP actualmente, debido a que las dimensiones de los vehículos que se pretende utilizar en Chile son mucho mayores [20].

6.2.5 Caso Viena

En un gran proyecto de construcción privada en Viena, se están utilizando equipos de compactación a batería y máquinas eléctricas compactas, demostrando su eficacia para el uso de tareas como la demolición, excavación y transporte de material [21], tal como se aprecia en la Figura 9.



Figura 9: Fotografía de la maquinaria utilizada en las obras de Viena [21].

La iniciativa de utilizar este tipo de vehículos en los proyectos surge con el propósito de reducir las emisiones de CO₂ y la contaminación acústica en zonas urbanas, como parte del compromiso de la empresa con la construcción sostenible. Gracias a esto, se logró una reducción de ruido en más de 20 decibeles hasta los 60 db(A).

Las máquinas utilizadas fueron de la marca Wacker Neuson, como la miniexcavadora eléctrica EZ17e. Además, se utilizó un dumper eléctrico de 1.5 [ton] de capacidad, similar a los proyectos de construcción urbana de Barcelona y Copenhague. Estos equipos están equipados con baterías de litio de alta calidad, las cuales pueden ser intercambiadas entre los equipos, ya que utilizan el mismo modelo. Esta tecnología ofrece durabilidad y potencia comparable a los modelos convencionales, además de permitir una versatilidad de horas de operación de acuerdo a los requerimientos de la obra. También, ambos modelos de maquinaria tienen un cable que permite la carga mediante la conexión directa a la red eléctrica doméstica, y un cable de carga rápida de hasta 415 [V] de capacidad.

En comparación con el proyecto del MOP, no se podría aplicar la misma metodología de operación ya que las capacidades de los vehículos son mucho menores a las requeridas en faenas. Por otra parte, se vuelve a mencionar que existen casos en que la maquinaria se utiliza en zonas donde no existe conexión a la red eléctrica adecuada para la carga de vehículos eléctricos.

6.2.6 Caso Stuttgart

En un proyecto de construcción realizado el año 2015 en Alemania, Stuttgart, también se utilizó maquinaria eléctrica con el propósito de reducir las emisiones generales de las obras [22]. En este caso se utilizaron las maquinarias eléctricas mostradas en la Figura 10.



Figura 10: Fotografía de la maquinaria utilizada en las obras de Stuttgart [22].

El tipo de maquinaria utilizada incluye dumper de orugas de 10 toneladas, un dumper sobre ruedas de 15 toneladas utilizó conexión directa a la red eléctrica domiciliaria, por lo que este caso tampoco es aplicable a las labores realizadas en faenas por los vehículos del Ministerio de Obras Públicas.

6.2.7 Caso Estocolmo

En la ciudad de Suecia, Estocolmo, se realizaron pruebas de maquinaria eléctrica bajo condiciones climáticas frías en un proyecto de construcción de infraestructura, instalando tuberías de enfriamiento [23].

En este proyecto se utilizó una excavadora eléctrica de 14 [ton]. la cual fue acompañada por dos modelos más pequeños de la misma. En este proyecto fue necesario utilizar una unidad de almacenamiento de energía para realizar la carga de la maquinaria de 14 [ton] en el terreno. Esta unidad de almacenamiento cuenta con una capacidad de 422 kWh, la cual fue desarrollada en Holanda. El itinerario de trabajo consistió en 3 horas y media cada mañana para luego cargar 45 minutos con cable de CC en el periodo de almuerzo de los operarios. Posteriormente, la maquinaria continuaba su operación hasta terminar la jornada laboral, donde luego se conectaba con cable de CA durante la

noche. De esta forma también se mantenía la batería caliente para un rendimiento óptimo a la mañana siguiente. Este caso sería comparable al proyecto que se desarrolla en este informe, pues no se consideró el uso de la red eléctrica del lugar para la carga de la maquinaria más grande. Sin embargo, no se encontraron detalles sobre la forma de recarga de la unidad de almacenamiento ni tampoco se halló información sobre la forma de traslado de la maquinaria.

Por su parte, Suecia también ha impulsado otros proyectos de construcción de electromovilidad que incluyen maquinaria pesada, pero no se encontraron detalles profundos al respecto.

6.2.8 Caso Helsinki

En 2021, en Helsinki, Finlandia, se realizó un proyecto público utilizando maquinaria de construcción eléctrica para convertir un boulevard en una calle para bicicletas [16]. El propósito de implementar maquinaria eléctrica nuevamente fue reducir las emisiones de gases contaminantes. Para este caso se utilizaron tres excavadoras eléctricas de 4.2 [ton] y una miniexcavadora eléctrica. Sin embargo, no se tiene información sobre el proceso de carga ni de transporte de estos vehículos hasta la zona de trabajo.

6.2.9 La electromovilidad en Chile

En ciudades de países desarrollados, se han puesto como metas la eliminación de fuentes contaminantes poniendo como fechas límite el año 2025 hasta el año 2040, mudando flotas hacia la electrificación para lograr este propósito. Además, diferentes empresas han optado por la implementación de flotas completas de vehículos eléctricos, cambiando a ser una empresa sin emisiones de gases contaminantes. Sin embargo, no se tiene registro de mediciones de ruido para comprobar la disminución de la contaminación acústica debido a la electrificación de flotas de vehículos.

En Chile, se han realizado diferentes proyectos que involucran cambios de flotas de vehículos a eléctricos. En general, los proyectos consistieron en realizar un cambio de vehículos menores (van de pasajeros, minibuses, taxibuses) de motor diésel a vehículos similares pero con motores eléctricos. Este es el caso de empresas como Chilexpress [24], Minera Centinela [25], SQM [26], entre otras.

Para el caso de las grandes flotas de vehículos más grandes, como los de transporte de pasajeros, existen proyectos como el de Red (ex Transantiago) [27], donde se han electrificado paulatinamente los vehículos, superando la cifra de 650 buses eléctricos en 2020. Otro de los casos destacados es el de Codelco, donde se adquirieron 155 buses eléctricos para ser implementados en transporte de personal [28]. En el sector privado también se han llevado a cabo proyectos similares, donde se destaca la electrificación de la flota de buses de la Compañía Minera del Pacífico (CMP), la cual considera 45 vehículos para el transporte de sus trabajadores [29]. Además, hay informados más de 100 buses eléctricos en diversas operaciones industriales.

Con respecto a maquinaria pesada, SQM ha integrado camiones y semirremolques a sus operaciones, a pequeña escala [30]. El proyecto aún no involucra un cambio total en la flota de vehículos, pero se pretende reducir considerablemente la emisión de gases contaminantes. Estos camiones se encuentran operando para realizar labores de minería en diferentes zonas del país.

Realizar el cambio de la flota presentada en este documento a vehículos eléctricos, posiciona a este proyecto de electromovilidad como el más grande de Chile hasta el momento, y el único que involucra diferentes tipos de maquinaria pesada.

7. Análisis de datos

Para llevar a cabo este proyecto y mantener la operación de este, es importante seleccionar un método adecuado para la adquisición y operación de los vehículos y la infraestructura asociada a los mismos. En este caso, cada modelo de operación está vinculado directamente con cada modelo de adquisición, ya que la operación dependerá de cómo se adquirieron los activos de las empresas.

7.1 Modelos de adquisición

Para la adquisición de vehículos y su infraestructura de carga existen diferentes alternativas. Estas alternativas se describen a continuación enumeradas como modelos de adquisición. Sobre los riesgos mencionados en cada caso, se abordará en detalle en la próxima sección.

Modelo de adquisición totalmente externalizado (caso 1): en este modelo se plantea una adquisición de vehículos y de infraestructura de carga realizada por una empresa especializada externa. El agente mandante sólo tendrá un contrato con la empresa que será responsable de gestionar todo lo necesario para que las flotas puedan cumplir sus funciones y estén operativas siempre. De esta forma, la adquisición de maquinaria y de su infraestructura de carga, la compra de la energía para recarga de los vehículos, el financiamiento y la operación de los vehículos es gestionada por dicha empresa externa. Esto a la vez que se tendrá un precio más alto, ya que se debe considerar los márgenes de ganancias de cada sector que cubre la empresa que presta el servicio. A pesar de esto, se considera un menor riesgo en la adquisición y operación de la maquinaria y asociados, ya que la empresa externa se haría cargo de cumplir con los requisitos de la flota que se necesita implementar. Este es el caso más complejo si en algún momento se desea cancelar el servicio, ya que se debe encontrar una empresa que cumpla todos los requisitos necesarios para mantener en funcionamiento el servicio, reemplazando todos y cada uno de los equipos, además de toda la gestión, administración y mantención involucrada.

Modelo de adquisición mixto (caso 2a y 2b): este modelo plantea una adquisición de activos compartida, donde existe otra empresa externa que se responsabilizará de la operación del sistema. Este modelo se puede dividir en dos casos, los cuales se denominaron como 2a y 2b.

El caso 2a consiste en que el mandante (en este caso sería el Ministerio de Obras Públicas) adquiera los vehículos, mientras que una empresa externa se responsabiliza por la adquisición de la infraestructura de carga, la compra de energía eléctrica y la operación de los equipos. En este caso el financiamiento del proyecto puede ser gestionado de forma independiente entre el MOP y la empresa externa.

El caso 2b se diferencia del anterior en que la adquisición de la infraestructura de carga es realizada por el MOP, externalizando la adquisición de maquinaria, la compra de energía eléctrica y la operación

de los equipos. El financiamiento sigue siendo gestionado de manera independiente entre el MOP y la empresa externa.

En ambos casos el riesgo de adquisición es medio, debido a que el mandante será el responsable de algún activo, lo que implica mayor trabajo en gestión al encargarse de la mantención y buen funcionamiento de dicho activo. A pesar de ello, el riesgo durante la operación sigue siendo bajo ya que la empresa externa es la responsable de ello. El precio del servicio será menor que en el caso anterior, debido a que se ahorrará al adquirir activos al por mayor directamente con los proveedores, acortando la cadena de valor de los productos.

Modelo de adquisición total de activos: en este modelo se propone una alternativa de menor precio, pero que implica una mayor responsabilidad y esfuerzo en la administración interna, puesto que la entidad que inicia el proyecto de electrificación (en este caso el Ministerio de Obras Públicas) realiza la adquisición de todos los activos, es decir, la maquinaria y vehículos, acompañados del respectivo sistema de carga. Para ello, también se gestionará internamente el financiamiento para la adquisición de dichos activos. Sin embargo, la operación del sistema y la compra de energía estará a cargo de una empresa externa.

Bajo los términos dados anteriormente, se tendrá un riesgo más alto en adquisición de vehículos e infraestructura, ya que toda la gestión asociada al proceso y los activos será responsabilidad de, en este caso, el Ministerio de Obras Públicas. De la misma forma, el riesgo de operación aumenta en comparación a los dos modelos anteriores ya que la mantención de los activos y la responsabilidad de asegurar el buen funcionamiento tendrá que ser asumida por el dueño de los vehículos, mientras que serán manipulados por una empresa externa. Sin embargo, optar por este modelo disminuirá al máximo el precio de la inversión realizada debido a que la cadena de riesgo y valor es mucho más corta.

7.2 Riesgos de adquisición

Al momento de adquirir cualquier activo, es importante tener en cuenta los riesgos asociados y tomar las precauciones necesarias para reducir al máximo la posibilidad de generar problemas que retrasen la ejecución del proyecto. Los riesgos de adquisición se pueden clasificar en tres tópicos: administrativo, técnico y económico y financiero.

7.2.1 Administrativo

Desistimiento de ofertas

- Descripción: Puede existir el caso que políticas administrativas de oferentes impacten en el desistimiento de oferentes.
- Probabilidad de ocurrencia: bajo.
- Escala de riesgo: medio.
- Acción de mitigación: Solicitar boletas de seriedad de la oferta.

- Riesgo residual: bajo.

Dimensionamiento Estructura Organizacional Técnica

- Descripción: El cambio de tecnología obliga a contratar electro bomberos que se encarguen de conectar los vehículos y ejecutar la carga.
- Probabilidad de ocurrencia: medio.
- Escala de riesgo: bajo.
- Acción de mitigación: Solicitar desglose en oferta económica y aplicar promedio de las empresas existentes al mejor oferente.
- Riesgo residual: bajo.

Dimensionamiento Estructura Organizacional Operacional

- Descripción: Se puede dar el escenario de un sobre dimensionamiento de la estructura operacional necesaria.
- Probabilidad de ocurrencia: medio.
- Escala de riesgo: medio.
- Acción de mitigación: Solicitar desglose en oferta económica y aplicar promedio de las empresas existentes al mejor oferente.
- Riesgo residual: bajo.

Bonificación Equipo Ejecutivo

- Descripción: Existen posibilidades que el proyecto absorba un sobredimensionamiento de bonificaciones ejecutivas por cierre del negocio, cargadas a la operación.
- Probabilidad de ocurrencia: bajo. Escala de riesgo: medio.
- Acción de mitigación: Solicitar desglose en oferta económica y aplicar promedio de las empresas existentes al mejor oferente.
- Riesgo residual: bajo.

7.2.2 Técnico

Operadores sin soporte técnico

- Descripción: Un oferente que no tenga un soporte técnico externalizado impactará en un sobredimensionamiento del sistema.
- Probabilidad de ocurrencia: alto.
- Escala de riesgo: alto.
- Acción de mitigación: Solicitar en bases que en respuesta a carta invitación el oferente envíe la descripción / certificado de que herramienta o asesoría externa utilizará.
- Riesgo residual: bajo.

Estructura organizacional

- Descripción: Si la estructura organizacional no cuenta con el conocimiento adecuado, podría impactar en la operación.
- Probabilidad de ocurrencia: alto.

- Escala de riesgo: alto.
- Acción de mitigación: Definir equipo dedicado a administración de electromovilidad y capacitar en fase de implementación.
- Riesgo residual: bajo.

Sobredimensionamiento de batería

- Descripción: La batería del vehículo/maquinaria debe estar dimensionada para el requerimiento energético real de la operación.
- Probabilidad de ocurrencia: alto.
- Escala de riesgo: alto.
- Acción de mitigación: Asignar puntuación al dimensionamiento en bases de licitación.
- Riesgo residual: medio.

Sobredimensionamiento Infraestructura de Carga

- Descripción: La infraestructura de carga se debe dimensionar para el requerimiento real de carga, junto el tiempo disponible.
- Probabilidad de ocurrencia: alto.
- Escala de riesgo: alto.
- Acción de mitigación: Asignar puntuación al dimensionamiento en bases de licitación.
- Riesgo residual: medio.

Plazos de Implementación

- Descripción: Extensión de los plazos de implementación que afecten a la operación del mandante.
- Probabilidad de ocurrencia: medio.
- Escala de riesgo: medio.
- Acción de mitigación: Asignar puntuación al dimensionamiento en bases de licitación (no deberá ser menor a 6 meses).
- Riesgo residual: bajo.

7.2.3 Financiero y económico

Margen de Utilidad Bajo

- Descripción: Para el caso de externalizar alguno de los servicios, el margen de utilidad no podrá ser menor a un 5% dado que pone en riesgo la operación de largo plazo.
- Probabilidad de ocurrencia: bajo.
- Escala de riesgo: medio.
- Acción de mitigación: Bajo el mismo modelo de externalizar los servicios, en caso de un oferente con márgenes muy estrechos, negociar al momento de adjudicar (si es oferente top 3).
- Riesgo residual: bajo.

Margen de Utilidad Alto

- Descripción: Para el caso de externalizar algún servicio, un margen de utilidad por sobre un 15% está fuera de mercado e impone un sobreprecio al proyecto.
- Probabilidad de ocurrencia: medio.
- Escala de riesgo: medio.
- Acción de mitigación: Bajo el supuesto de que se tiene una oferta de una empresa externa para cubrir algún servicio, se deberá solicitar el desglose de la oferta económica.
- Riesgo residual: bajo.

Gastos Generales

- Descripción: En el caso de que se externalice un servicio, los gastos generales podrían ocultar parte de la utilidad del operador, generando un sobreprecio.
- Probabilidad de ocurrencia: alto.
- Escala de riesgo: alto.
- Acción de mitigación: Solicitar al oferente del servicio el desglose de la oferta económica.
- Riesgo residual: medio.

Tasa de Interés

- Descripción: El financiamiento estará compuesto por UF + tasa de interés, por lo que este último indicador deberá estar en valores de mercado para este tipo de operaciones, para no generar un sobreprecio del proyecto. TI: 4,5% a 9%.
- Probabilidad de ocurrencia: alto.
- Escala de riesgo: alto.
- Acción de mitigación: Solicitar ronda de presentación del proyecto a banca, prelicitación.
- Riesgo residual: medio.

Financiamiento bancario

- Descripción: Existe el riesgo de que la banca desista de financiar operadores que se encuentren en los top 5 de las mejores ofertas.
- Probabilidad de ocurrencia: medio.
- Escala de riesgo: alto.
- Acción de mitigación: Solicitar ronda de presentación del proyecto a banca, prelicitación. Confeccionar cláusula de cesión de pagos.
- Riesgo residual: bajo.

7.3 Modelos de operación

Para llevar a cabo el proyecto, se plantean diferentes alternativas de cómo mantener en operación la maquinaria y vehículos de las diferentes faenas. Dentro de estas alternativas, se enumeran a continuación los diferentes modelos para la operación de las flotas.

Modelo de operación 1: En este modelo, relacionado con el modelo de adquisición 1, la entidad mandante del proyecto minimiza los riesgos, pero a un alto precio de operación. En este caso, el mandante realiza un único contrato con un operador, para que este último se haga cargo de administrar y gestionar el buen funcionamiento de la infraestructura de carga y de los vehículos y maquinaria. Este caso se puede aplicar en aquellas operaciones que el Ministerio de Obras Públicas externaliza. El modelo se resume en la Figura 11 mostrada a continuación.

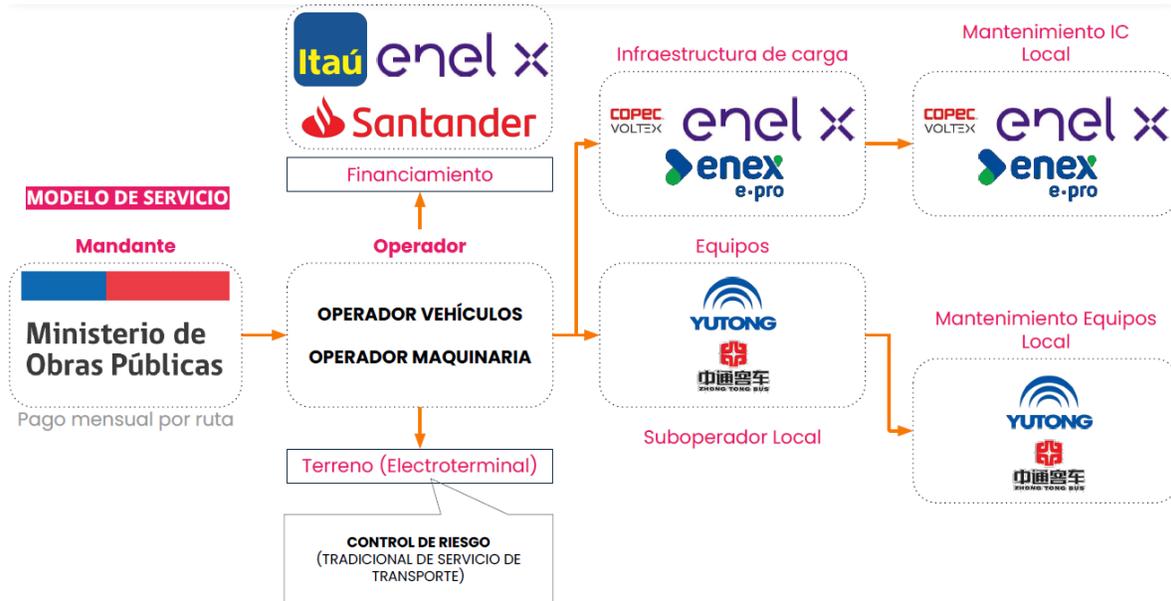


Figura 11: Diagrama de modelo de operación 1.

En este caso el operador (empresa externa) es el encargado de gestionar el financiamiento del proyecto, gestionar los terrenos para el electro terminal, tener comunicación directa con los proveedores y supervisar las mantenciones para que el servicio sea continuo y de calidad. El resumen de beneficios y desventajas se muestra a continuación:

Beneficios:

- Si falla el equipo, se permite reemplazo temporal por uno con propulsión por diésel.
- Existe una sola contraparte que debe responder por la garantía del producto.

Desventajas:

- En la cadena se transfiere el margen y riesgo, incrementando el precio del servicio.
- Todos los activos son propiedad del operador por lo que en casos de mala prestación de servicio, sería más difícil reemplazar a la empresa prestadora del servicio.

Modelo de operación 2: en este modelo, el mandante es dueño de una parte de los activos (puede ser infraestructura de carga o de los equipos), teniendo dos contratos, dependiendo del activo que se posea. Este modelo es aplicable para el caso de los vehículos que no son propiedad del MOP, es decir,

para aquel 70% de vehículos de las obras realizadas por un agente externo al MOP. Al igual que en los modelos de adquisición, el modelo 2 se puede dividir en dos casos.

En el primer caso (2a), el mandante se encarga de gestionar directamente los equipos, consiguiendo por sus propios medios financiamiento para ello. En este caso, el mismo mandante será el encargado de realizar mantenimientos a los equipos y velar por tener un plan de respaldo en caso de que alguno falle. El esquema que resume este modelo se muestra en la siguiente figura.

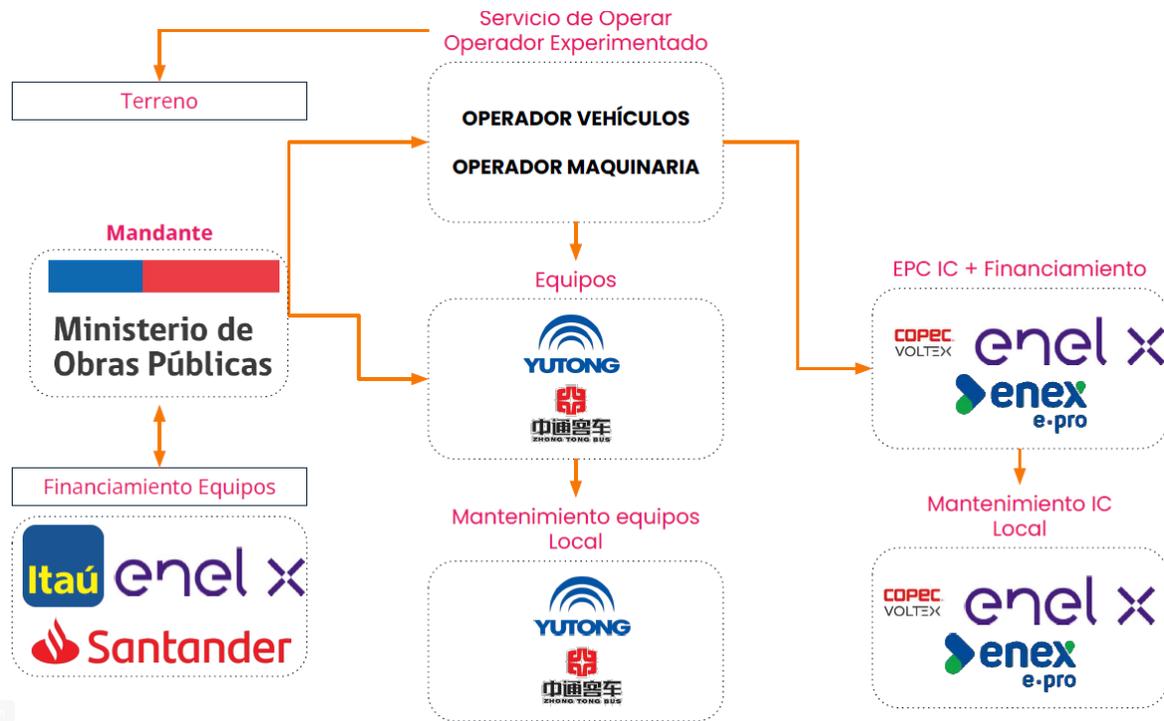


Figura 12: Diagrama de modelo de operación 2a.

Como se puede apreciar, en el modelo 2a el mandante también crea un contrato con una empresa externa que presta el servicio de operador de vehículos y maquinaria. Esta empresa también estaría a cargo de la realización de la infraestructura de carga y del respectivo mantenimiento de la misma. Esto implica que la gestión del terreno para la construcción de los electroterminales debe ser gestionada por la empresa operadora. A continuación, se resumen los beneficios y desventajas del caso.

Beneficios:

- El riesgo lo asume directamente el MOP, por lo cual, el precio del servicio debería reflejar esta condición y debería ser menor.
- La tecnología queda bajo administración del MOP y no depende de la calidad del servicio.

Desventajas:

- Existe un riesgo asociado al valor residual del principal activo, el cual será asumido por el MOP.
- Existe un riesgo asociado al control del terminal de carga. Sin este el principal activo queda inutilizado.
- El MOP se vería obligado a incorporar en su organización una persona/equipo que administre el activo para el control de KPI y garantías.

El modelo de operación siguiente (2b) se basa en el modelo de adquisición 2b, donde se establece que el mandante es quien compra e instala la infraestructura de carga, mientras que la empresa externa que se encargará de operarlos también tendrá la responsabilidad de adquirir los vehículos y la maquinaria, así como también de realizar el respectivo mantenimiento a dichos activos. En este caso igualmente existirán dos contratos, los cuales se justifican en la interacción entre el MOP con el operador de los vehículos y el proveedor/installador de infraestructura de carga. El diagrama representativo de este caso se muestra en la siguiente figura.

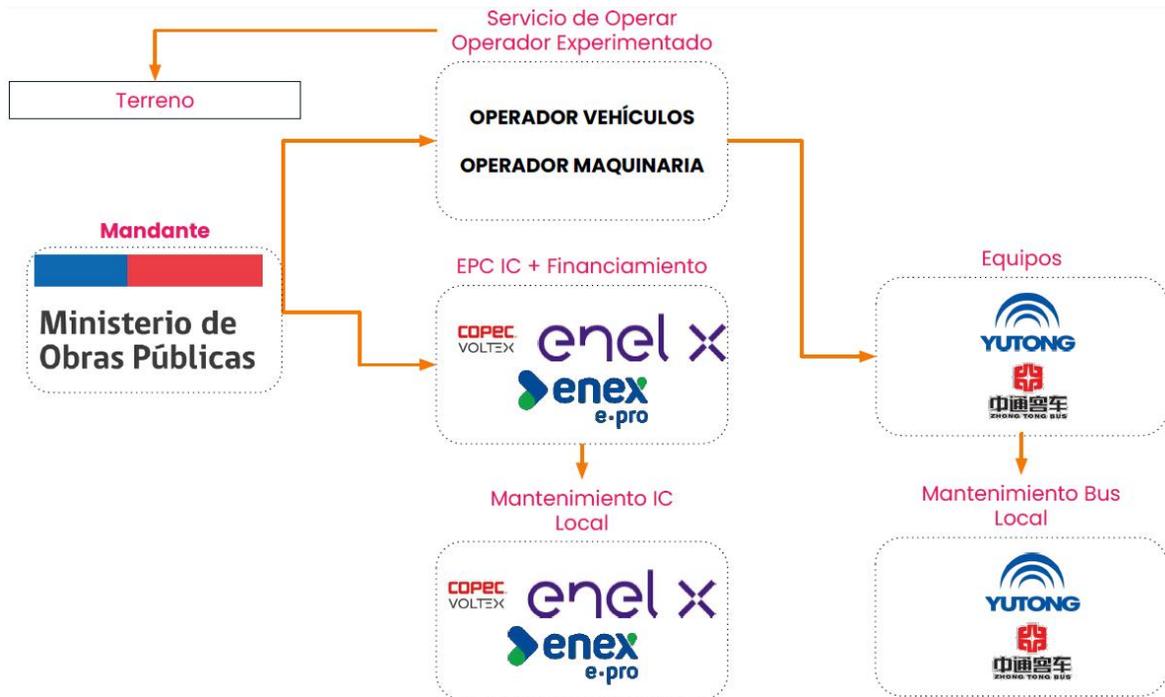


Figura 13: Diagrama de modelo de operación 2b.

El diagrama mostrado en la Figura 13 representa un modelo de operaciones que se podría aplicar a la electrificación de los equipos que no sean propios del Ministerio de Obras Públicas, considerando que los operadores son externos al mismo.

En resumen, los beneficios y desventajas se muestran a continuación:

Beneficios:

- El asumir parte del riesgo se podría reflejar en precio, pero no sería significativo dado que el principal activo son los equipos.
- Parte de la tecnología de carga (Infraestructura de carga en Planta) queda bajo administración del MOP, por lo que podría reemplazar al operador por mal servicio.

Desventajas:

- Existe un riesgo asociado al control del terminal de carga, sin este el principal activo queda inutilizado.
- MOP podría reemplazar al operador y en el peor escenario quedaría expuesto a un periodo sin vehículos eléctricos, mientras el nuevo prestador de servicio los importa.

Modelo de operación 3 corresponde al último modelo de operación, debido a que el MOP es quien compra los equipos y la infraestructura de carga, el operador se encargará sólo de operar el sistema. En este caso se tendrán tres contratos: un contrato con el proveedor de vehículos, otro contrato con el proveedor de infraestructura de carga y finalmente un contrato con el operador. Este caso podría representar el modelo de operación para aquellos vehículos/maquinaria que se quieren electrificar y que el Ministerio de Obras Públicas es propietario. El esquema del modelo se muestra en la Figura 14.

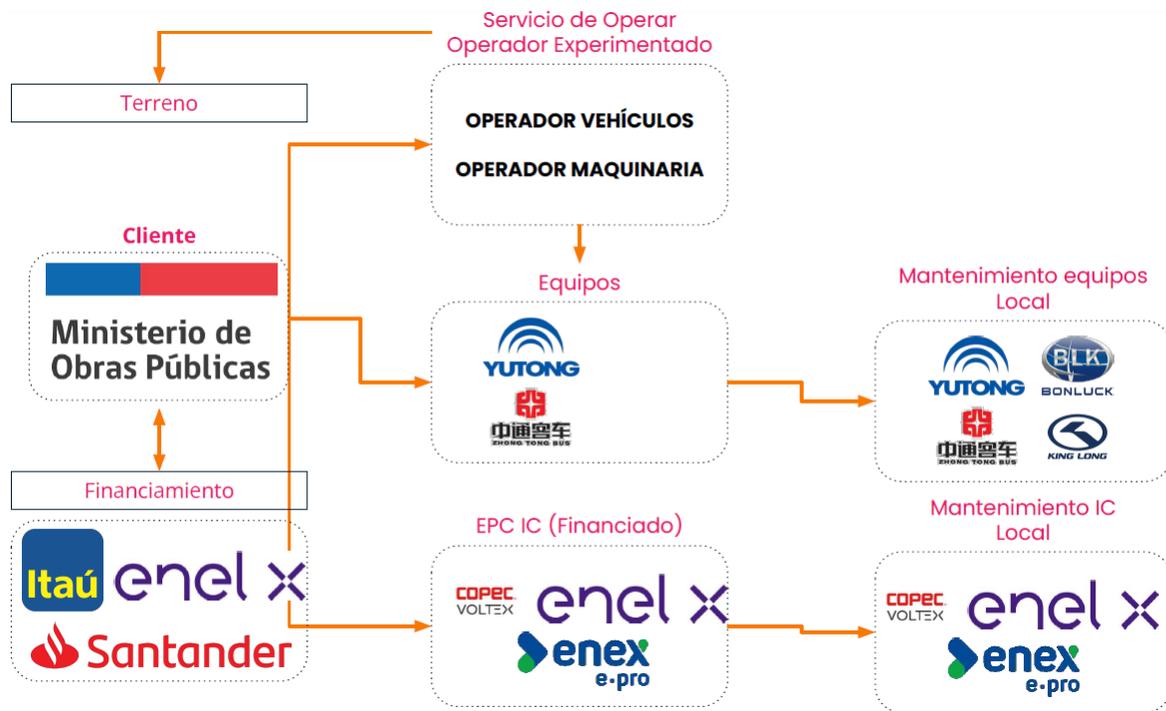


Figura 14: Diagrama de modelo de operación 3

En este caso, el MOP se haría responsable del buen funcionamiento de todos los activos, lo que incluye reemplazo de vehículos en caso de fallas y realizar las mantenciones adecuadas. A continuación, se resumen los beneficios y las desventajas de implementar este modelo de operación:

Beneficios:

- El riesgo lo asume directamente MOP por lo cual el precio del servicio debería reflejar esta condición, disminuyendo considerablemente.
- La tecnología queda bajo administración de MOP y no depende de la calidad del servicio.

Desventajas:

- Existe un riesgo asociado al valor residual del principal activo, el cual será asumido por el MOP.
- Existe un riesgo asociado al control del terminal de carga, sin este el principal activo queda inutilizado.
- MOP se vería obligado a incorporar en su organización una persona/equipo que administre el activo para el control de KPI y garantías.

7.4 Riesgos de operación

Al igual que en los modelos de adquisición, es importante considerar los riesgos o problemas más frecuentes que podrían suceder durante el periodo en que operen los equipos, los cuales podrían perjudicar la integridad del proyecto. Para ello, los riesgos se separan en diferentes tópicos: técnico, operacional, seguridad y económico. Los detalles de cada tópico se muestran a continuación.

7.4.1 Técnico

Técnicos especializados en mantenimiento

- Descripción: En caso de falla de un equipo eléctrico, no contar con técnicos especializados y contratados en zonas de asistencia.
- Probabilidad de ocurrencia: Medio.
- Escala de riesgo: Medio.
- Acción de mitigación: En caso de externalizar el servicio, solicitar en bases técnicas la localización de mano de obra especializada. En caso de que los equipos sean propios, considerar localización de asistencia técnica como parámetro importante para la compra.
- Riesgo residual: Bajo.

Obsolescencia tecnológica - Retrofit e hidrógeno

- Descripción: La duración del contrato, cuando se externaliza algún servicio, impide que en casos de obsolescencia tecnológica se pueda migrar a nuevas tecnologías.
- Probabilidad de ocurrencia: Bajo.
- Escala de riesgo: Medio.
- Acción de mitigación: En el caso de externalizar el servicio, en bases de licitación se indicará que en casos de obsolescencia tecnológica, el mandante podrá considerar migrar a nuevas tecnologías bajo un esquema de retrofit, sea con baterías o celdas de combustible (hidrógeno).
- Riesgo residual: Bajo.

Técnicos especializados en Infraestructura de Carga

- Descripción: En caso de falla del sistema de carga, no contar con técnicos especializados y contratados en zonas de asistencia.

- Probabilidad de ocurrencia: Medio.
- Escala de riesgo: Medio.
- Acción de mitigación: Si se externaliza el servicio, solicitar en las bases técnicas la localización de mano de obra especializada.
- Riesgo residual: Bajo.

7.4.2 Operacional

Generación de respaldo

- Descripción: Falla en partida de grupo generador de respaldo en condición de blackout o corte de suministro.
- Probabilidad de ocurrencia: Bajo.
- Escala de riesgo: Alto.
- Acción de mitigación: Considerar inspecciones periódicas por parte del mandante del proyecto junto a checklist de revisión en terreno.
- Riesgo residual: Bajo.

Capacitación conductores

- Descripción: Incapacidad de incorporar conductores en condiciones de alta rotación por falta de programa de capacitación en electromovilidad.
- Probabilidad de ocurrencia: Bajo.
- Escala de riesgo: Medio.
- Acción de mitigación: En caso de externalizar el servicio, solicitar en bases técnicas un programa de capacitación estándar. El mandante deberá realizar inspecciones recurrentes al proveedor con un checklist de cumplimiento.
- Riesgo residual: Bajo.

Stock de piezas y partes

- Descripción: Incapacidad de reparación de fallas por falta de partes y piezas de stock en buses e infraestructura de carga.
- Probabilidad de ocurrencia: Medio.
- Escala de riesgo: Medio.
- Acción de mitigación: Solicitar en bases técnicas un stock de partes y piezas localizados en los proveedores. (Talleres locales).
- Riesgo residual: Bajo.

Unidad de transporte de reemplazo

- Descripción: Equipo eléctrico en falla no cuenta con unidad de reemplazo diésel.
- Probabilidad de ocurrencia: Bajo.
- Escala de riesgo: Medio.
- Acción de mitigación: Solicitar en bases técnicas que el proveedor deberá contemplar un % de stock de equipos diésel de reemplazo.
- Riesgo residual: Bajo.

Dilución de responsabilidad

- Descripción: Incapacidad de determinar responsabilidad en caso de fallas en terminal de carga en planta (operador o proveedor Infraestructura de Carga).
- Probabilidad de ocurrencia: Bajo.
- Escala de riesgo: Medio.
- Acción de mitigación: Indicar en bases técnicas que la empresa de infraestructura de carga (para el caso de externalización de este servicio) deberá realizar mantenimientos preventivos y será el único responsable del sistema de carga en planta.
- Riesgo residual: Bajo.

7.4.3 Seguridad

Accidentes eléctricos

- Descripción: Riesgo de accidentes eléctricos por exposición a tableros de carga (planta y electro terminal).
- Probabilidad de ocurrencia: bajo.
- Escala de riesgo: Alto.
- Acción de mitigación: El tablero eléctrico de electromovilidad deberá estar ubicado en una zona de acceso restringido.
- Riesgo residual: Bajo.

Incendio

- Descripción: Riesgo de incendio y mal manejo de organismos externos (Carabineros / Bomberos).
- Probabilidad de ocurrencia: bajo.
- Escala de riesgo: Alto.
- Acción de mitigación: Indicar en bases técnicas que el proveedor u oferente de servicio de operación de maquinaria deberá realizar una capacitación a stakeholders locales (Municipio, Seremi, Bomberos, Carabineros y otros relacionados).
- Riesgo residual: Bajo.

Accidente de tránsito

- Descripción: Riesgo de accidente de tránsito por desconocimiento de la tecnología (freno regenerativo).
- Probabilidad de ocurrencia: Bajo.
- Escala de riesgo: Alto.
- Acción de mitigación: Indicar en bases técnicas que el proveedor y operador deberá realizar una capacitación periódica de tópicos de electromovilidad a los conductores.
- Riesgo residual: Bajo.

7.4.4 Económico

Insolvencia del proveedor

- Descripción: Insolvencia del proveedor (pérdida de tecnología).
- Probabilidad de ocurrencia: Bajo.
- Escala de riesgo: Alto.
- Acción de mitigación: En la fase de invitación a oferentes se deberá revisar los antecedentes económicos y financieros para realizar una precalificación.
- Riesgo residual: Bajo.

Aumento de costos de mantenimiento

- Descripción: Aumento progresivo de costos de mantenimiento.
- Probabilidad de ocurrencia: Bajo.
- Escala de riesgo: Alto.
- Acción de mitigación: En bases de licitación se solicitará un plan de mantenimiento con costos durante el periodo de contrato.
- Riesgo residual: Bajo.

Financiamiento bancario

- Descripción: Aumento progresivo de costos de energía.
- Probabilidad de ocurrencia: Bajo.
- Escala de riesgo: Alto.
- Acción de mitigación: En bases de licitación se deberá contemplar que MOP pueda asignar energía a los terminales de carga en caso de que el precio sea más competitivo que la alternativa que maneja el proveedor.
- Riesgo residual: Bajo.

7.5 Riesgo de implementación

La adopción de vehículos eléctricos y la infraestructura de carga requieren una inversión significativa. Para proteger la inversión y no incurrir en sobrecostos, se deben considerar previamente los riesgos de implementación, los cuales se describen a continuación. Para ello, los riesgos se separan en diferentes tópicos: técnico, operacional, seguridad y económico.

7.5.1 Técnico

Maquinaria con problemas de carga

- Descripción: El sistema de carga está mal dimensionado y es insuficiente para abastecer de energía a la maquinaria.
- Probabilidad de ocurrencia: Bajo.
- Escala de riesgo: Alto.
- Acción de mitigación: Confeccionar un checklist de implementación para realizar un seguimiento de regulación de electromovilidad y los cálculos de ingeniería.
- Riesgo residual: Bajo.

Maquinaria no alcanzan a recorrer distancias

- Descripción: La batería de los equipos está mal dimensionada y es insuficiente para cumplir el recorrido planificado de la maquinaria.
- Probabilidad de ocurrencia: Bajo.
- Escala de riesgo: Alto.
- Acción de mitigación: Realizar un chequeo de dimensionamiento en la fase de negociación para adjudicar el proyecto.
- Riesgo residual: Bajo.

En apagón, flota carga parcialmente

- Descripción: En caso de que exista un corte total de energía eléctrica (apagón), el sistema de respaldo insuficiente para abastecer los vehículos.
- Probabilidad de ocurrencia: Bajo.
- Escala de riesgo: Alto.
- Acción de mitigación: Se debe dimensionar el sistema de respaldo en especificaciones técnicas.
- Riesgo residual: Bajo.

7.5.2 Operacional

Capacidad insuficiente de maquinaria

- Descripción: Falla en transferencia de operación desde maquinaria diésel a eléctricos por mal dimensionamiento.
- Probabilidad de ocurrencia: Bajo.
- Escala de riesgo: Medio.
- Acción de mitigación: Establecer checklist técnico en fase de adjudicación.
- Riesgo residual: Bajo.

Problemas de asimilación de operadores

- Descripción: Los operadores tienen problemas para operar correctamente la maquinaria o camiones.
- Probabilidad de ocurrencia: Bajo.
- Escala de riesgo: Medio.
- Acción de mitigación: Realizar un esquema de capacitación en fase de licitación.
- Riesgo residual: Bajo.

Atraso en inicio de proyecto (1)

- Descripción: Delay en entrega de maquinaria eléctrica.
- Probabilidad de ocurrencia: Bajo.
- Escala de riesgo: Medio.
- Acción de mitigación: Considerar en fase de licitación y adjudicación que no intervenga el año nuevo chino.
- Riesgo residual: Bajo.

Atraso en inicio de proyecto (2)

- Descripción: Delay en asignación de potencia eléctrica por parte de la distribuidora CGE/Saesa.
- Probabilidad de ocurrencia: Medio.
- Escala de riesgo: Alto.
- Acción de mitigación: Coordinar reunión MOP con las distribuidoras y comunicar el proyecto en fase de licitación.
- Riesgo residual: Medio.

Sobrecosto de transporte

- Descripción: Maquinaria desembarca en terminal incorrecto.
- Probabilidad de ocurrencia: Bajo.
- Escala de riesgo: Medio.
- Acción de mitigación: Realizar reuniones de seguimiento con operadores, fabricantes e implementadores de infraestructura de carga.
- Riesgo residual: Bajo.

7.5.3 Seguridad

Accidentes de montaje

- Descripción: Riesgo de accidentes eléctricos y mecánicos en montaje de sistemas de carga.
- Probabilidad de ocurrencia: Bajo.
- Escala de riesgo: Alto.
- Acción de mitigación: confección de un documento tipo inspección de electromovilidad, que incorpore las inspecciones de seguridad. En el documento se debe considerar el seguimiento de procedimientos de trabajo, capacitaciones al personal de implementación y control de la regulación de electromovilidad.
- Riesgo residual: Bajo.

Daños a e-maquinaria / e-trucks⁵

- Descripción: Daños a vehículos eléctricos en proceso de desembarque y traslado desde puerto a base operador.
- Probabilidad de ocurrencia: bajo.
- Escala de riesgo: Bajo.
- Acción de mitigación: N/A.
- Riesgo residual: Bajo.

7.5.4 Económico

Falta de financiamiento

- Descripción: Imposibilidad de concretar financiamiento por parte del proveedor (Servicios externalizados).
- Probabilidad de ocurrencia: Alto.
- Escala de riesgo: Alto.
- Acción de mitigación: Configurar modelo de obtención de financiamiento en hoja de ruta.
- Riesgo residual: Bajo.

⁵ Términos usados para referirse a maquinaria y camiones eléctricos.

7.6 Indicadores de control

Para evaluar el éxito y la viabilidad de este proyecto, es fundamental establecer indicadores de control que permitan medir su progreso y efectividad. Estos indicadores incluyen aspectos como la cantidad de vehículos eléctricos incorporados, la infraestructura de carga instalada, la reducción de emisiones y la eficiencia operativa. A continuación, se abordarán en detalle estos indicadores para garantizar una implementación exitosa.

En primer lugar, se tienen los indicadores de control asociados a los vehículos eléctricos como se aprecia en la Tabla 9. Mediante estos indicadores se puede analizar el estado de los vehículos en operación y verificar que sigan cumpliendo con los estándares de rendimiento requeridos.

Tabla 9: Indicadores de control asociados al vehículo eléctrico.

KPI/KBI	Tópico	Descripción	Unidad de medición
KPI	Batería del Vehículo Eléctrico	Ciclos de carga consumidos	Q
KPI	Batería del Vehículo Eléctrico	Porcentaje de Degradación	%
KPI	Batería del Vehículo Eléctrico	State of Health (SOH)	%
KBI	Batería del Vehículo Eléctrico	Hora en la cual se conecta el vehículo al sistema de carga	h
KBI	Distancia Recorrida	Promedio de distancia diaria debe estar dentro de los parámetros de autonomía del vehículo eléctrico. El acumulativo de la distancia recorrida debe estar dentro de los parámetros proyectados para cubrir la garantía del vehículo eléctrico.	km
KBI	Rendimiento	El rendimiento del vehículo debe estar bajo las proyecciones del promedio	km/kWh
KBI	Velocidad Promedio	La velocidad promedio debe estar en una banda que permita obtener el máximo rendimiento del vehículo.	km/h
KBI	Velocidad Promedio	La velocidad máxima debe estar dentro de lo permitido por las normas de MOP y las leyes de tránsito.	km/h
KBI	Mantenimiento Preventivo del Vehículo Eléctrico	Cumplimiento de la periodicidad del mantenimiento preventivo del vehículo eléctrico.	Si/No
KBI	Mantenimiento Preventivo del Vehículo Eléctrico	Cumplimiento de la pauta de mantenimiento preventivo del fabricante	Si/No
KPI	Stock de Piezas para Mantenimiento	Chequeo del stock de piezas mínimo de mantenimiento preventivo y correctivo en vendor del proveedor	%

A continuación, en la Tabla 10, se muestran los indicadores que permiten controlar el correcto funcionamiento de la infraestructura de carga que se implemente en el proyecto.

Tabla 10: Indicadores de control asociados a la infraestructura de carga.

KPI/KBI	Tópico	Descripción	Unidad de medición
KBI	Mantenimiento Preventivo de la Infraestructura de Carga	Cumplimiento de la periodicidad del mantenimiento preventivo del vehículo eléctrico	Si/No
KBI	Mantenimiento Preventivo de la Infraestructura de Carga	Cumplimiento de la pauta de mantenimiento preventivo del fabricante	Si/No
KPI	Stock de Piezas para Mantenimiento	Chequeo del stock de piezas mínimo de mantenimiento preventivo y correctivo en vendor del proveedor	%

Finalmente, en la Tabla 11 se pueden observar los indicadores que permiten controlar de forma cuantitativa los parámetros que son relevantes para llevar a cabo satisfactoriamente la operación del proyecto piloto y en caso de que se desee en un futuro, de toda la flota de vehículos/maquinaria.

Tabla 11: Indicadores de control asociados a la energía.

KPI/KBI	Tópico	Descripción	Unidad de medición
KPI	Volumen de Energía	Volumen de energía inyectado diariamente por vehículo debe cumplir con las estimaciones que permitan que el vehículo pueda circular diariamente.	kWh
KPI	Origen de la Energía	Determinar el origen de la energía y el porcentaje de distribución entre renovable y no renovable.	%
KPI	Tarifa Utilizada	Hacer seguimiento de la tarifa utilizada en la carga diaria.	tarifa
KPI	Costo por kWh	Seguimiento del costo de carga diaria del vehículo.	\$/kWh

8. Roadmap del proyecto

La estrategia para construir la hoja de ruta del proyecto se puede basar en cinco pilares diferentes que permiten poner límites y encauzar el desarrollo del proyecto. Los cinco aspectos fundamentales que se consideraron se muestran a continuación.

- Fechas de reemplazo: para realizar la electrificación de las flotas, se puede tener en cuenta el tiempo de vida útil de los vehículos/maquinarias utilizadas en la operación. Basados en este pilar, los equipos deben ser reemplazados considerando su antigüedad, con el fin de que se pueda obtener el mayor provecho y no se subutilicen. Sin embargo, se deben tener en cuenta las limitaciones del mercado al planificar el reemplazo de equipos diésel por equipos eléctricos, ya que, en algunos casos, como en las barcazas, puede no existir el análogo eléctrico del vehículo diésel.
- Presupuesto disponible: otro aspecto fundamental a considerar en la planificación del proyecto es el presupuesto destinado al reemplazo de vehículos dado para el proyecto. Es posible crear una estrategia de electrificación en base a este punto. Siguiendo este caso, no se requeriría una inversión excepcional, por lo que se podría aprovechar el presupuesto destinado específicamente para la renovación de vehículos diésel que cumplieron su vida útil de operación. Además, se podría aprovechar el ahorro de los primeros cambios, ya que disminuiría el gasto operacional.
- Precio de mercado: otra forma de crear una ruta de electrificación de los equipos es considerar los precios del mercado de los vehículos como de la infraestructura de carga. Actualmente el precio de los equipos eléctricos es elevado, en general, debido a que es una tecnología relativamente nueva y no masificada en el mercado chileno, y también debido al elevado precio de las baterías actuales. Se debe tener en cuenta el precio fluctuante de la energía y el aumento de las ofertas de vehículos eléctricos y, por consiguiente, la disminución en su precio. Para la elaboración del plan utilizando este estamento como principio de trabajo, se asume la reducción de precios de las baterías de los vehículos, tomando la decisión de cambio cuando el costo de las baterías de los vehículos eléctricos sea conveniente para el proyecto. Esto sin embargo, podría generar una demora en el reemplazo de los equipos debido a que actualmente el costo de las baterías sigue siendo alto, y a la vez, se podría generar una sobreacumulación de vehículos diésel al final del periodo planteado para realizar la electrificación.
- Distribución normal: es posible además confeccionar una ruta de electrificación considerando una adquisición de vehículos que siga una distribución normal lo que implica que el proceso comenzaría lo antes posible. De esta forma, se podría generar liderazgo en proyectos de electromovilidad general en Latinoamérica y específicamente, en el sector de maquinaria de construcción. Sin embargo, si se genera un reemplazo metódico y estricto, apegándose a una

distribución normal, se podría forzar un reemplazo en unidades que aún no generan paridad de costo diésel/eléctrico, ya que actualmente en muchos tipos de vehículos, el precio de los eléctricos es superior a su par diésel.

- Acumulación al final del periodo: por otra parte, también se puede considerar en la planificación de la electrificación de las flotas intentando desplazar las inversiones cuando el mercado se encuentre totalmente maduro, es decir, cuando las ofertas de mercado de los diferentes equipos estén desarrolladas y diversificadas (se espera que esto sea al final del periodo). A pesar de ello, es recomendable considerar gradual y no estrictamente este punto, ya que se pierde oportunidad de liderar en proyectos de este estilo, limitando la capacidad de aprender en la operación de esta nueva tecnología. Además, se podría generar un sobrecosto al mantener en operación de los equipos diésel en los casos en que desde ahora es conveniente económicamente viable la electrificación.

8.1 Roadmap de recambio de equipos recomendado

Teniendo en cuenta los cinco parámetros nombrados anteriormente y las metas propuestas por el gobierno nacional con respecto al mercado de vehículos/equipos eléctricos, se plantea un proceso de electrificación de flotas que concluya el año 2045. También, en base a las mismas metas del gobierno, es importante tener hitos en los años 2035 y 2040, ya que en esos el total de vehículos livianos en el mercado será cero emisiones (2035) y el total de maquinarias en ventas será cero emisiones (2040). Es recomendable, además, que el cambio a flota eléctrica se concentre en el momento en que los vehículos diésel alcancen la paridad de precios con los vehículos eléctricos, haciendo más conveniente aún la adquisición. Por otra parte, es importante considerar la Estrategia Nacional de Electromovilidad [6], la cual establece que se deben reemplazar los equipos según el tipo. Para cumplir con dicho objetivo, se plantea un reemplazo de vehículos utilizando una distribución relativamente uniforme, reemplazando los vehículos a una tasa cercana a 160 unidades por año hasta 2035.

Otro de los pilares fundamentales en los cuales se debe basar la estrategia de reemplazo de vehículos es el presupuesto asignado para el recambio de equipos. Para ello, se solicitó información sobre los fondos disponibles para este propósito. En la información recibida, se puede observar que la ley presupuestaria hace la diferencia entre reemplazo de vehículos y reemplazo de maquinaria, dando montos diferentes por año para cada categoría. El resumen de la información recibida se muestra a continuación en la Tabla 12.

Tabla 12: Presupuesto por año para reemplazo de equipos

Año	Tipo Adquisición	Monto [Miles CLP]
2020	Maquinaria	\$5.005.853
	Vehículos	\$1.525.249

Año	Tipo Adquisición	Monto [Miles CLP]
2021	Maquinaria	\$10.689.601
	Vehículos	\$1.905.756
2022	Maquinaria	\$7.233.790
	Vehículos	\$6.181.822
2023	Maquinaria	\$3.153.644
	Vehículos	\$2.378.015
2024	Maquinaria	\$0
	Vehículos	\$8.791.000

Para complementar la información de la tabla, se muestran los montos distribuidos por año y por categoría de equipo en la Figura 15

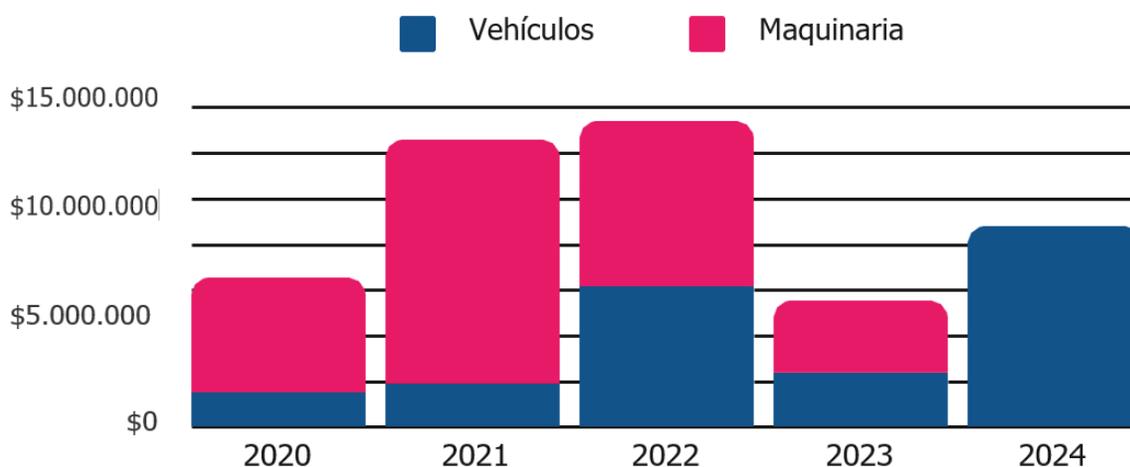


Figura 15: Distribución de presupuesto por año para maquinaria y vehículos en miles de pesos.

A partir de la figura anterior, se pueden observar los montos asignados durante el periodo que abarca entre el año 2020 y el año 2024. Teniendo en cuenta la tabla, se tendrá un presupuesto promedio por categoría, el cual se utilizará para proyectar la distribución de adquisición de vehículos durante el periodo establecido. Para el caso de los vehículos, el presupuesto promedio proyectado será de \$4.156.368.000 de pesos chilenos, mientras que para las maquinarias, el presupuesto será de \$5.216.578.000 de pesos chilenos.

Para determinar la cantidad de vehículos que se recomienda reemplazar por año, es importante tener en cuenta los vehículos que actualmente tiene el MOP y que cumplen con ciertas condiciones para ser reemplazados, ya sea por ser vehículos representativos del Ministerio, porque cumplen con la antigüedad de 10 años o más, o porque su reemplazo por un vehículo eléctrico tiene un TCO menor que el diésel. Para ello, se utilizaron los datos obtenidos a partir del archivo entregado por el Ministerio

de Obras Públicas [31], el cual contiene detalles sobre vehículos y maquinaria. En la Tabla 13 se pueden observar tres columnas diferentes.

Tabla 13: Clasificación para reemplazo de equipos.

Ítem	Vehículos 1	Vehículos 2	Maquinaria
Equipos	1.148	180	789
Precio promedio (USD)	\$178.326	\$37.789	\$71.777
Prioritarios [unidades]	514	142	369
Antigüedad [unidades]	521	38	391
Económico [unidades]	261	0	0
PR [unidades]	215	16	205
PRE [unidades]	168	0	0

A continuación, se mostrarán las explicaciones de las categorías mostradas en la tabla anterior.

- Equipos: Cantidad de equipos considerada para el cálculo.
- Precio promedio: Vehículos que corresponden a los prioritarios según faenas.
- Prioritarios: Vehículos que fueron identificados como los más representativos de acuerdo con la distribución de estos en las faenas del MOP.
- Antigüedad: Vehículos que según su año de adquisición corresponde su reemplazo de acuerdo con lo informado por el MOP, considerando 10 años de uso.
- Económico: Vehículos que el TCO es menor en el caso eléctrico. PR: Prioritario y reemplazable por antigüedad.
- PRE: Prioritario, reemplazable por antigüedad y económicamente viable.

En este caso, los 168 vehículos considerados en la categoría PRE es el número de vehículos totales que se recomienda reemplazar. Tomando en cuenta la tabla anterior y el presupuesto dado para reemplazo de vehículos y maquinaria, es posible aproximar la cantidad de vehículos que se deben reemplazar por año. La propuesta de reemplazo generada se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 14: Tasa de reemplazo máxima y mínima junto con vehículos considerados.

Año	Tasa de reemplazo máxima	Tasa de reemplazo mínima	Vehículos 1	Vehículos 2	Maquinaria
2024	80	28	0	0	0
2025	80	28	11	0	0
2026	80	28	16	0	0
2027	80	28	21	0	0
2028	80	28	21	0	0
2029	80	28	24	0	0
2030	80	28	27	0	0

Año	Tasa de reemplazo máxima	Tasa de reemplazo mínima	Vehículos 1	Vehículos 2	Maquinaria
2031	80	28	32	0	0
2032	80	28	38	0	0
2033	80	28	43	0	0
2034	80	28	48	0	0
2035	80	28	49	0	0

De acuerdo con la Tabla 14, se puede observar que la tasa de reemplazo mínima recomendada, la cual es de 28 unidades por año. El máximo recomendado para que sea viable el proyecto es de 80 unidades por año. Esta cifra es la tasa de reemplazo deseable, ya que para seguir la Estrategia Nacional de Electromovilidad, se deberían reemplazar 160 unidades por año en promedio (lo que está fuera del alcance del proyecto ya que algunos equipos se utilizarían mucho menos tiempo que el recomendado).

Tomando en cuenta la información de las tres tablas anteriores, se propone una distribución del presupuesto dividida porcentualmente hacia vehículos diésel y vehículos eléctricos. Se propone que en los primeros años la distribución de presupuesto esté enfocada en los vehículos diésel y que cambie paulatinamente hacia los vehículos eléctricos, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 15: Presupuesto MOP distribuido por año según diésel / cero emisiones.

Año	Porcentaje de presupuesto Diesel	Porcentaje de presupuesto Cero Emisiones	Monto Presupuestado diésel en millones [CLP]	Monto Presupuestado cero emisiones en millones [CLP]
2024	100%	0%	\$9.373	\$0
2025	80%	20%	\$7.498	\$1.875
2026	70%	30%	\$6.561	\$2.812
2027	60%	40%	\$5.624	\$3.749
2028	60%	40%	\$5.624	\$3.749
2029	55%	45%	\$5.155	\$4.218
2030	50%	50%	\$4.686	\$4.686
2031	40%	60%	\$3.749	\$5.624
2032	30%	70%	\$2.812	\$6.561
2033	20%	80%	\$1.875	\$7.498
2034	10%	90%	\$937	\$8.436
2035	8%	92%	\$761	\$8.612
2036	7%	93%	\$634	\$8.739
2037	5%	95%	\$506	\$8.867
2038	4%	96%	\$379	\$8.994
2039	3%	97%	\$251	\$9.122
2040	1%	99%	\$124	\$9.249

Año	Porcentaje de presupuesto Diesel	Porcentaje de presupuesto Cero Emisiones	Monto Presupuestado diésel en millones [CLP]	Monto Presupuestado cero emisiones en millones [CLP]
2041	1%	99%	\$99	\$9.274
2042	1%	99%	\$74	\$9.299
2043	1%	99%	\$49	\$9.323
2044	0%	100%	\$25	\$9.348
2045	0%	100%	\$0	\$9.373

Con respecto a la tabla anterior, es importante mencionar que, a pesar de no poder cumplir con la tasa de reemplazo deseable en los primeros años (debido a la distribución del presupuesto), no se considera el año 2024 como año de inicio para el reemplazo de las flotas, ya que no se alcanzaría a planificar correctamente considerando los tiempos de los procesos necesarios para la aprobación de la hoja de ruta y de implementación de los vehículos eléctricos y de la infraestructura de carga asociada. Según la distribución anterior, la tasa de reemplazo presupuestaria se cumpliría en el año 2033, promediada. De esta forma, se muestra la hoja de ruta de adquisición de vehículos y maquinaria recomendada.

Tabla 16: Cantidad de vehículos recomendados para compra.

Año	Motoniveladora	Cargador Frontal	Camión Tracto	Camión Tolva	Camión Aljibe	Camioneta
2024	0	0	0	0	0	0
2025	2	2	2	2	2	1
2026	3	3	3	3	3	2
2027	4	4	4	4	4	2
2028	4	4	4	4	4	2
2029	5	5	5	5	5	2
2030	5	5	5	5	5	3
2031	6	6	6	6	6	3
2032	7	7	7	7	7	4
2033	8	8	8	8	8	4
2034	9	9	9	9	9	5
2035	10	10	10	10	10	5

Para los cálculos de la tabla anterior, se consideraron los precios promedio considerados en la Tabla 4, con excepción de la motoniveladora, donde se consideró el valor más alto. Además, la información asumida fue la siguiente:

- Se consideró un presupuesto de adquisición de aproximadamente 9.000 millones de pesos chilenos por año.

- Se consideró una distribución presupuestaria de 80% diésel y 20% eléctrico al inicio del periodo hasta 8% diésel y 92% eléctrico al 2035, alineado a la Estrategia Nacional de Electromovilidad.
- El roadmap de electrificación se construyó al 2035, basado en las unidades que al menos 2024 son reemplazables, por lo que podría ser más eficiente el reemplazo a medida que aumenta la oferta de mercado.
- Se recomienda realizar una actualización anual de la hoja de ruta, dado que la oferta de maquinaria y vehículos se actualiza constantemente y esto impacta en los precios ofertados.
- En el costo de adquisición no se contempla la infraestructura de carga asociada a cada vehículo, ya que los modelos actuales de negocio se asemejan al combustible, es decir, las empresas dedicadas a la venta de energía de carga consideran el costo de la infraestructura incluido en el precio de venta de la energía [kWh] vendida; es posible llegar a acuerdo con las empresas para que el costo de la infraestructura se recupere mediante el pago de energía eléctrica utilizada en la carga de los vehículos.

Considerando lo anterior, se resume la distribución del presupuesto de adquisición como la que se muestra en la Figura 16 a continuación.

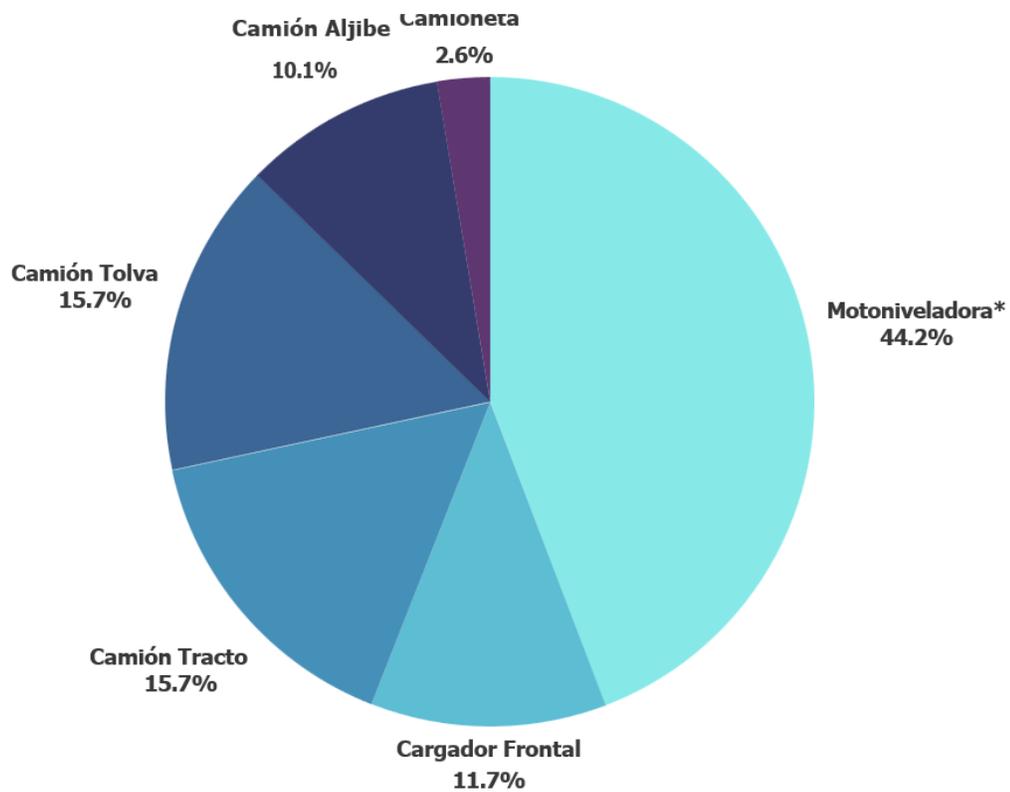


Figura 16: Distribución del presupuesto de adquisición de vehículos y maquinaria.

De esta forma, la mayor parte del presupuesto está destinado a la adquisición de las motoniveladoras, ya que es uno de los vehículos más representativos en las faenas y el más costoso de todas las tipologías mapeadas.

A la hora de adquirir los productos, es importante tomar ciertas precauciones para que la planificación se ajuste a la ejecución. Para los vehículos es importante solicitar en el contrato de compra que las baterías estén garantizadas por 10 años o por las horas de trabajo equivalentes a ese periodo. Además, es de vital importancia solicitar que los proveedores identifiquen las piezas de reemplazo críticas con menor presencia en el mercado (como sensores específicos) y que tengan stock disponible para que estas piezas sean parte de la venta del vehículo, para que no se estanque la operación debido a fallos en estas piezas. Además, se debe solicitar que personal calificado realice el mantenimiento correctivo de los diferentes equipos.

8.2 Planificación infraestructura de carga

La otra parte importante de realizar una conversión de flota a vehículos eléctricos es la infraestructura de carga y los sistemas asociados. En este caso, se debe dimensionar una infraestructura que permita la carga de todos los vehículos que se desean adquirir. Es importante que se cumpla con la potencia necesaria y el tipo de cargador que se necesita para cada aplicación. Vehículos pesados como camiones o maquinaria necesitan cargadores DC, mientras que las camionetas, por ejemplo, pueden ser cargadas utilizando AC en periodos largos de detención.

En cuanto a la infraestructura de carga, es necesario considerar el uso de cargadores e infraestructura eléctrica que estén garantizados en años. Además, es importante considerar una plataforma de administración y control que cuente con un acuerdo de nivel de servicio (SLA) superior a un 95% para asegurar un seguimiento adecuado para la flota, lo que permitiría obtener estadísticas fiables.

9. Diseño de proyecto piloto de MOP

El proyecto piloto de electrificación pretende el reemplazo de equipos que no tienen una condición técnica/económica adecuada para realizar el cambio. Generalmente, las causas son la viabilidad de carga del vehículo por quedar detenido en la faena entre jornadas de trabajo, el déficit de autonomía (el tiempo operativo, en el caso de las maquinarias) del equipo para cumplir con el trabajo realizado por un equipo diésel, la baja de oferta de mercado del producto (lo que conlleva a un precio más elevado de los productos) o que no exista el producto en el mercado del país. Dentro de esta categoría se encuentran los rodillos vibratorios, las motoniveladoras, las excavadoras oruga, los cargadores frontales, los bulldozer oruga y la retroexcavadora.

Realizar un proyecto piloto de este tipo implica un gran paso para el Ministerio de Obras Públicas, debido a que se comenzaría a aprender sobre la operación de equipos eléctricos. La información

obtenida en este proceso sería muy importante para superar obstáculos a futuro en caso de que se electrifiquen otras faenas del país, ya que a nivel latinoamericano no existe información de electrificación de flotas similar a la que se realizará (para más detalle ver sección 6.2). En adición, los datos económicos relacionados al gasto de energía, velocidad de carga y rendimiento de los equipos podrían permitir afinar la planificación de este y otros proyectos debido a la escasez de datos de este tipo. Además, el Ministerio de Obras Públicas sería un referente en Latinoamérica en proyectos de electromovilidad de faenas. De esta forma, al realizar un proyecto piloto también se impulsa al mercado para fomentar el desarrollo e importación de maquinaria eléctrica en Chile.

Por otra parte, cabe considerar que para realizar una correcta operación del ecosistema necesario para los equipos eléctricos, se requiere de una modernización organizacional que permita administrar la operación e integrar nuevos conocimientos a todo el equipo que interactúe con los vehículos/maquinaria.

Los beneficios mencionados anteriormente también se pueden aplicar al proyecto de electrificación de flota, con la diferencia de que en este último se optimizan los costos de operación finales de los vehículos que ya están insertos en el mercado chileno y tienen precios competitivos.

Con respecto a la realización del proyecto piloto, después de los análisis logísticos realizados, se determinó realizar la electrificación en un solo lugar, debido a las posibles complicaciones y costos de implementación que implica tener vehículos eléctricos y puntos de carga en diferentes bases del MOP.

La electrificación de flotas en el Ministerio de Obras Públicas implica dos procesos complementarios estratégicos. Primero, se planifica la electrificación de la base provincial donde se almacenan los vehículos y maquinaria. Esto incluye la adquisición de vehículos eléctricos y la instalación de infraestructura de carga.

También se establece la electrificación de una faena para que se lleve a cabo con cero emisiones y tener datos concretos sobre la operación de vehículos eléctricos en Chile. Para implementar la electrificación en faena, se tiene ya considerada la electrificación de la base provincial. De esta forma, como no se tienen referencias con datos empíricos en Chile ni en Latinoamérica sobre proyectos similares, bajo condiciones geográficas similares, se tomará como referencia la experiencia que se obtenga en este proyecto piloto. Este proceso se evaluará mediante indicadores de control para garantizar una implementación exitosa.

9.1 Planificación piloto por provincia

Como se mencionó al final de la introducción de este capítulo, se pretende que el proyecto piloto se concentre en una zona determinada. De acuerdo con esto, se recomienda llevar a cabo este proyecto en la base ubicada en Maipú, Provincia de Santiago, ya que esta reúne las mejores condiciones para la construcción de la infraestructura de carga: cercanía a la red eléctrica, espacio para la construcción de IRVE y un empalme al interior del recinto. De acuerdo con las faenas que más se

realizan y los vehículos que más se utilizan, se seleccionaron como vehículos principales para el desarrollo del proyecto piloto una motoniveladora, un cargador frontal, un tractocamión, un camión tolva y una camioneta. Esto además se debe a que son vehículos que tienen un alto potencial de electrificación, ya que existe oferta de mercado y además, su operación podría ser conveniente desde el punto de vista económico. El análisis económico se ve con detalle en la sección 10 del documento.

Para la recarga de los vehículos eléctricos, algunos permanecen en faena (motoniveladora y cargador frontal), mientras que otros vuelven a la base (camiones y camioneta), por lo que es necesario tener una solución de recarga para ambos casos. Teniendo en cuenta que existen vehículos que vuelven constantemente a la base provincial a pesar de no haber terminado la labor en faena, se deberá considerar un cargador fijo en la base. En este caso, se pretende que exista una infraestructura de carga en la base provincial del Ministerio de Obras Públicas que permita al equipo salir hacia la faena con las baterías totalmente cargadas.

El mayor reto del piloto es abastecer de energía a los equipos que no vuelven a la base del MOP. Es por ello que se plantea la opción de utilizar un cargador móvil. Este cargador compuesto por una power bank de 400 [kWh], permitiría suministrar energía para cargar a 150 [kW] utilizando dos mangueras. Este cargador móvil se cargaría en la base provincial del MOP antes de llegar a faena.

Las especificaciones de los cargadores optimizados para cada tipo de vehículo a utilizar se muestran a continuación en la Tabla 17.

Tabla 17: Características recomendadas para cargadores.

	Cargador principal - Base provincial			Cargador móvil - Power Bank
Potencia de carga [kW]	60	10	50	150
Cantidad de mangueras	2	1	1	2
Objetivo de carga	Camiones	Camionetas	Power bank móvil	Maquinaria

Casi todos los vehículos y maquinarias que se seleccionaron para la electrificación de la base provincial seguirán su operación normal, a excepción del camión tolva, del cual se recomienda realizar un viaje de vuelta a la base provincial a mitad del día para una óptima planificación de carga y el costo de la operación.

Las fechas estimadas y los hitos para realizar el proyecto se muestran a continuación en la

Tabla 18.

Tabla 18: Fechas estimadas electrificación base provincial

Periodo	Hito	
2024	Abril	Entrega de diseño de piloto y hoja de ruta
	Mayo - Junio	Proceso de aprobación interno MOP

	Junio - Septiembre	Requerimiento a mercado
		Proceso de capacitación para electromovilidad
Periodo		Hito
2024 (continuación)	Septiembre - Diciembre	Inicio de piloto maquinaria, vehículos y electro terminal
2025	Diciembre - Marzo	Fin de piloto maquinaria, vehículos y electro terminal
	Marzo - Junio	Evaluación de toma de decisiones para electrificación

9.2 Planificación piloto por faena

Bajo la misma determinación de realizar la electrificación en una zona determinada, pero considerando electrificar una faena específica, se recomienda elegir para ello la faena de recebo de capas de rodadura granular, debido a que es potencialmente más eficiente si se realiza junto con la electrificación de base provincial mostrada en la sección anterior y además es una de las operaciones que se realiza con mayor frecuencia.

Según la información levantada, en esta faena se utiliza una motoniveladora, dos camiones tolva y un camión aljibe. De estos equipos, la motoniveladora es el único equipo que no se devolvería a la base provincial para realizar la carga nocturna. Es por esto que se sigue requiriendo un cargador móvil en este proyecto piloto.

Al ser realizada junto con la electrificación de la base provincial de Maipú, se reducirían los costos de implementación debido a que habrían vehículos que ya serían parte de la base provincial de Maipú, como la motoniveladora y un camión tolva.

En este caso, al utilizar los mismos equipos de carga que en la sección anterior, se repite el esquema mostrado en la Tabla 17. Es importante considerar las potencias de los cargadores, ya que de esta forma se optimizan los costos y se permite la adecuada carga de los equipos teniendo en cuenta una carga planificada.

La planificación estimada para la electrificación de la faena se muestra a continuación en la Tabla 19.

Tabla 19: Fechas estimadas de electrificación faena.

Periodo		Hito
2024	Abril	Entrega de diseño de piloto y hoja de ruta
2024	Mayo - Junio	Proceso de aprobación interno MOP
	Junio - Septiembre	Requerimiento a mercado
		Proceso de capacitación para electromovilidad
	Septiembre - Diciembre	Inicio de piloto faena electrificada
2025	Diciembre - Marzo	Fin de piloto faena electrificada
	Marzo - Junio	Evaluación de toma de decisiones para electrificación

10. Análisis de costos

Para determinar la viabilidad del proyecto y poder comparar económicamente las diferencias entre la operación de un sistema diésel con un sistema eléctrico, se necesitan datos relativos a cada uno. Considerando lo anterior, se realizó un análisis económico por tipo de vehículo que se implementaría en el proyecto piloto eléctrico: motoniveladora, camión tolva, camión aljibe, camioneta, cargador frontal y tractocamión [32]. Según el tipo de vehículo se consideraron diferentes valores para los parámetros que se consideraron dentro del análisis, utilizando como referencia de comparación los datos de vehículos diésel entregados por el MOP.

Dentro de los parámetros utilizados para la comparativa de vehículos en el análisis, se encuentran los siguientes: precio del vehículo, precio de las mantenciones, rendimiento, precio litro diésel neto (vehículos diésel) y el precio de energía por [MWh] (vehículos eléctricos), precio del seguro del vehículo, costo de la revisión técnica, precio del permiso de circulación, precio del seguro obligatorio (SOAP), el costo de los neumáticos, costo del lavado, salario del conductor, gastos por ropa corporativa, costo de los elementos de protección personal por año, el costo de la estructura organizacional asociada, la tasa de financiamiento mensual, el valor residual de los vehículos y un porcentaje de gastos generales. Además, para el caso de los vehículos eléctricos se consideraron otros parámetros como el porcentaje de SOC mínimo, el porcentaje de degradación de la batería (este dato y el anterior son valores extraídos según las referencias del mercado), el margen de la batería y el porcentaje de batería utilizable (valores obtenidos a partir de fórmulas). Para todos los cálculos se consideró un tiempo de operación de los vehículos de 10 años.

A continuación, se muestra la Tabla 20 con la comparación de costos de adquisición entre vehículos diésel y su contraparte eléctrica.

Tabla 20: Resumen de costos de adquisición por vehículo.

Vehículo	Costo Adquisición	
	Diésel (USD)	Eléctrico (USD)
Camioneta	\$24.817,00	\$50.000,00
Cargador frontal	\$160.759,00	\$339.150,00
Motoniveladora	\$363.610,00	\$735.590,00
Camión tolva	\$115.000,00	\$185.000,00
Camión aljibe	\$115.000,00	\$202.500,00
Camión tracto	\$130.000,00	\$203.000,00

A pesar de que existe una gran diferencia entre el costo de adquisición entre ambos tipos de vehículos, se puede observar que el costo de energía y mantención de los vehículos eléctricos es menor que el costo de combustible y mantención de los vehículos diésel. A continuación, se muestra la Tabla 21 que resume los costos asociados a mantención en el periodo de operación de los vehículos. Se debe

considerar que el costo de los neumáticos es cero debido a que viene incluido en el costo de las mantenciones, al igual que el costo de revisión técnica.

Tabla 21: Resumen de costos de mantención por vehículo.

Vehículo	Costo Mantenciones	
	Diésel (USD)	Eléctrico (USD)
Camioneta	\$17.052,00	\$10.588,00
Cargador frontal	\$117.820,00	\$82.474,00
Motoniveladora	\$131.095,00	\$91.766,00
Camión tolva	\$52.207,00	\$36.545,00
Camión aljibe	\$104.706,00	\$73.294,00
Camión tracto	\$70.885,00	\$52.800,00

Para el caso de los costos por energía, es importante considerar los efectos de los cambios de la tarifa en caso de que se tengan costos adicionales. En el caso de Chile, se pueden aproximar tres valores diferentes para la energía, dependiendo de cómo y dónde se realice la carga. Si la carga se realiza en el terreno propio se pueden dar dos tarifas diferentes según la cantidad de potencia instalada. Si la potencia instalada es mayor a 500 [kW], se puede optar a una tarifa como “cliente libre”, lo que quiere decir que el precio por unidad de energía se define directamente con la empresa generadora.

En caso de que la potencia instalada sea menor, se tendrá una tarifa domiciliaria dada por la empresa distribuidora. Se debe considerar que en ambos casos anteriores se requiere infraestructura de carga que puede ser financiada por un agente externo o por el mismo agente que desea electrificar sus flotas. Si la carga no se realiza en terreno propio bajo las condiciones mencionadas anteriormente, se puede optar a realizar la carga pagando a una empresa que ofrece este servicio, lo que implica un costo mayor por unidad de energía debido a que en este precio se incluyen los costos de infraestructura de carga y asociados.

Considerando lo dicho anteriormente, se mostrará la influencia en los costos en la energía según el caso de carga. A continuación, en la Tabla 22, se puede observar la comparación de costos de combustible versus energía eléctrica de los vehículos seleccionados para el proyecto piloto, considerando las tres tarifas mencionadas.

Tabla 22: Comparativa de costos en USD de combustible con los diferentes tipos de tarifa eléctrica.

Vehículo	Costo de combustible	Costo de energía eléctrica [USD]		
		T. Cliente Libre	T. Domiciliaria	T. con servicio IC
Camioneta	\$55.210,00	\$6.922,00	\$13.844,00	\$28.842,00
Cargador frontal	\$21.155,00	\$5.147,00	\$10.293,00	\$21.444,00

Vehículo	Costo de combustible	Costo de energía eléctrica [USD]		
		T. Cliente Libre	T. Domiciliaria	T. con servicio IC
Motoniveladora	\$165.550,00	\$25.997,00	\$51.995,00	\$108.322,00
Camión tolva	\$120.022,00	\$20.583,00	\$41.165,00	\$102.914,00
Camión aljibe	\$165.630,00	\$24.699,00	\$49.398,00	\$102.914,00
Camión tracto	\$255.807,00	\$41.026,00	\$82.051,00	\$170.940,00

Con respecto a los valores obtenidos en la tabla anterior, para el caso de la tarifa de cliente libre, el precio de la energía eléctrica se estimó con un valor de 60 [USD/MWh]. Para el caso de la tarifa domiciliaria, el precio de la energía eléctrica se estimó con un valor de 120 [USD/MWh]. Si se considera que la carga se realiza por medio de una empresa que ofrece servicios de carga, la tarifa considera un precio de la energía eléctrica con un valor estimado de 250 [USD/MWh].

Además de los valores mostrados anteriormente, se utilizaron los supuestos mostrados en la Tabla 23 para el cálculo total del contrato de cada vehículo. El valor del dólar utilizado para el cálculo del costo total del contrato de cada vehículo fue de \$850 pesos chilenos,

Tabla 23: Supuestos para el cálculo de costos totales por contrato de vehículos.

Elemento comparativo	Costo
Lavado mensual [USD]	\$100
Seguro del vehículo* (mes)	3 UF
Salario conductor (mensual) [USD]	\$986
Ropa corporativa (anual) [USD]	\$300
Elementos de protección personal (anual) [USD]	\$150
Permiso de circulación [USD]	\$300

* Excepto camioneta que el costo es de 1 UF.

Finalmente, en la Tabla 24 se puede observar el resumen y comparativa de costos totales por contrato considerando las diferentes tarifas de energía.

Tabla 24: Comparativa de costos totales por contrato según tipo de vehículo.

Total costo contrato [USD]				
Vehículo	Diésel	Eléctrico		
		T. Cliente Libre	T. Domiciliaria	T. con servicio IC
Camioneta	\$499.602,00	\$474.140,00	\$481.408,00	\$497.156,00
Cargador frontal	\$732.482,00	\$893.127,00	\$898.531,00	\$910.239,00
Motoniveladora	\$1.091.166,00	\$1.318.124,00	\$1.344.122,00	\$1.400.449,00
Camión tolva	\$710.856,00	\$685.381,00	\$706.993,00	\$753.818,00
Camión aljibe	\$812.088,00	\$746.665,00	\$772.599,00	\$828.790,00
Camión tracto	\$886.535,00	\$794.449,00	\$837.526,00	\$930.859,00

Para el caso del proyecto piloto, dadas las condiciones del terreno y del empalme de la base provincial elegida, se realizaron los cálculos finales en base a la tarifa domiciliaria. En caso futuro de tener un mayor consumo de energía al electrificar las flotas completas de vehículos en las bases provinciales y que se supere los 500 [kW] de potencia instalada, es posible solicitar un aumento de potencia y optar a negociar el precio de la energía directamente con la empresa generadora.

Con respecto a las tablas mostradas previamente, es necesario considerar que los costos de los vehículos eléctricos se pueden optimizar adecuando los requerimientos de batería según las rutas en las cuales trabajan. Idealmente, se deben adquirir los vehículos para que se utilice completamente la capacidad de las baterías. Lo mencionado anteriormente fue considerado en los cálculos realizados.

Es importante mencionar que el TCO en este caso es menor a 10 años y que, además, para reducir los costos es posible reducir la potencia de la infraestructura de carga y maximizar el uso de los equipos. Por ejemplo, al utilizar mangueras de 150 [kW] para cargar los vehículos en la base provincial, los costos son casi 5 veces más que si se utilizan mangueras de 50 [kW]. Esto a la vez implica que la planificación de carga debe ser estructurada y ejecutada rigurosamente para evitar una paralización de la operación por falta de energía. Por otra parte, como los costos de operación son más baratos en el caso de los vehículos eléctricos, es importante mencionar que, si se maximiza su uso mayor será la diferencia de los costos a favor de los equipos eléctricos.

En el caso del proyecto piloto, para analizar los costos es necesario hacer algunos supuestos en cuanto a la operación de los vehículos. En primer lugar, para aquellos casos en que los vehículos no se desplacen por sus propios medios hasta la faena, se asumirá que el viaje se sigue realizando de la misma manera, es decir, utilizando un camión diésel con un remolque tipo cama baja, el cual lleva el equipo hasta la faena. La Tabla 25 resume la comparación de los costos para el proyecto piloto de electrificación de base provincial.

Tabla 25: Comparativa de costos de proyecto piloto de base provincial en millones de pesos chilenos.

	Eléctricos	Diésel
Adquisición de maquinaria [millones]	\$960	\$472
Adquisición de vehículos [millones]	\$457	\$243
Infraestructura de carga [millones]*	\$0	\$0
Subtotal adquisición [millones]	\$1.426	\$715
Electro terminal móvil [millones]*	\$0	\$0
Operación a 10 años [millones]	\$2.060	\$2.604
Total [millones]	\$3.657	\$3.319

* No se considera como adquisición sino como parte de la operación.

Para el siguiente análisis correspondiente a la electrificación de una faena, el cual se muestra en la Tabla 26, como supuesto inicial, se contempla ya realizada la electrificación de la base provincial, por lo que el costo de adquisición de la motoniveladora y de un camión tolva se obviaron, ya que serían

parte de la base provincial. Sin embargo, esto no quiere decir que los procesos de electrificación deban llevarse a cabo de forma consecutiva, ya que, como se mostró en la carta Gantt aproximada de ambos proyectos, se pretende que se desarrollen en paralelo.

Tabla 26: Comparativa de costos de proyecto piloto de faena en millones de pesos chilenos.

	Eléctricos	Diésel
Adquisición de maquinaria [millones]	\$0	\$0
Adquisición de vehículos [millones]	\$440	\$230
Infraestructura de carga* [millones]	\$0	\$0
Subtotal adquisición [millones]	\$440	\$230
Electro terminal móvil* [millones]	\$0	\$0
Operación a 10 años [millones]	\$1.216	\$1.100
Total	\$1.656	\$1.330

* No se considera como adquisición sino como parte de la operación.

11. Impacto en sustentabilidad y comunidades

El MOP tiene una política del año 2016, la cual plantea diferentes objetivos. Dentro de esta política se plantean metas enfocadas en la obra, ya que se pretende “prevenir impactos, efectos y/o daños a las personas y al medio ambiente” [33]. A la fecha en que se publicaron las políticas mencionadas anteriormente no existían grandes referentes locales que tuvieran experiencia con proyectos de electromovilidad, ya que los vehículos eléctricos que estaban en circulación en el país eran vehículos livianos principalmente particulares. Este pensamiento fue cambiando a medida que se realizaron proyectos piloto tanto en el transporte público como en el sector privado. Gracias a estos proyectos se pudo descubrir que la electromovilidad era viable tanto económica como técnicamente a largo plazo. Actualmente se está trabajando en desarrollar una nueva política de sustentabilidad por parte del Ministerio de Obras Públicas, sin embargo, aún no se ha entregado formalmente, por lo que no fue posible obtener los objetivos específicos de este caso. Se espera que esta nueva política abarque temas más específicos como pasos a seguir para disminuir la emisión de gases contaminantes. En general, los proyectos suelen enfocarse en la integración de vehículos eléctricos para cumplir con la meta de disminución de emisiones, ya que se considera que este tipo de vehículos no tiene emisiones⁶.

Gracias a la integración de vehículos eléctricos se tienen las ventajas que se muestran a continuación.

11.1 Ruido

Debido a que el motor de los vehículos eléctricos no funciona a través de la explosión de combustible, se reduce considerablemente el ruido generado. Este punto es importante a considerar para las obras que se realicen cerca de comunidades, ya que se podría reducir el ruido de 63 [dB] a 59 [dB], lo que se traduce como la eliminación del 50% de ruido. Además, es una importante mejora a las condiciones de trabajo del conductor de la maquinaria/vehículo, ya que el ruido en la cabina se reduce de 59 [dB] a casi 52 [dB] [34].

11.2 Eficiencia y paridad de género

Conseguir la paridad de género en un proyecto como el que se está trabajando requiere de planificación en el tiempo y determinar plazos realistas, ya que existen dificultades para encontrar mujeres conductoras y operadoras de maquinaria. Sumado a lo anterior, en el caso de ciertos equipos, es necesario que se cumplan los requisitos y deseables que se requieren para cada tipo de vehículo. Es por eso que, se requeriría un plan de capacitaciones e inserción en la operación del vehículo, con la finalidad de lograr los requisitos para el cargo.

⁶ Aclarar que, pese a no emitir emisiones, esto es en el contexto local sumado a si la matriz energética está constituida de energías renovables.

La paridad de género ha sido un punto importante en la operación del Transantiago, donde se han levantado diferentes iniciativas para intentar lograr la paridad. A pesar de ello, la cantidad de mujeres que conducen transporte público de este tipo es cercana al 7% aún.

Por otra parte, la minería es otro sector interesado en este tema. Sin embargo, en la planificación para la paridad se contempla un periodo de entre 6 y 8 años para alcanzar la meta.

Por otra parte, se tienen datos de casos reales de transporte de pasajeros privado y público en que se obtuvo un mejor rendimiento de la energía de las baterías en aquellas máquinas en el que había conductoras a cargo. Además, se tienen datos de otras empresas que han intentado la paridad de género sobre la disponibilidad de las mujeres. Por diferentes razones, las mujeres que solicitaban los cargos de preferencia part-time.

11.3 Inyección de energía

El proyecto de electrificación de flota (considerando vehículos más allá del proyecto piloto) debería privilegiar aquellas energías, realizando una estrategia en la cual los electroterminales tengan una potencia conectada superior a 500 [kW] para optar a ser cliente libre y poder negociar la energía directamente con las empresas generadoras. De esta forma, se podrá elegir qué empresa generadora suministrará la energía para la carga de vehículos, donde se priorizaría negociar con aquellas que generen energía eléctrica a partir de fuentes naturales y renovables.

11.4 Desechos

Al electrificar un vehículo, se evita desechar alrededor de 20 litros de aceite por mes debido a las diferencias de funcionamiento de los motores. Considerando este ahorro, se podría evitar el desecho de 1920 litros de aceite durante el periodo de operación aproximado del camión, lo que se traduce en un ahorro de 1.3 millones de litros de aceite en toda la flota propia del Ministerio de Obras Públicas. Además, se considera una reducción aproximada de un 80% de partes y piezas de mantenimiento, principalmente por los filtros utilizados por los vehículos diésel. A pesar de ello, se debe considerar que las unidades eléctricas siguen produciendo desechos, ya que, por ejemplo, los neumáticos que se utilizan en los vehículos diésel son los mismos que utiliza una unidad eléctrica.

Además, es importante considerar el residuo de un vehículo diésel cuando termina su vida útil, ya que generalmente se considera nulo. De manera diferente, cuando el vehículo eléctrico termina su vida útil según contrato (aproximadamente en un periodo de 8 años), es posible volver a acondicionarlo para que siga en funcionamiento, ya que el principal componente que se desgasta en este caso son las baterías. Así, las empresas que realizan retrofit podrían volver a acondicionar el vehículo mediante un cambio de baterías y componentes menores con desgaste crítico. Las baterías desechadas pueden ser utilizadas nuevamente para almacenar energía eléctrica, por ejemplo, con

energía obtenida a partir de generación fotovoltaica residencial. Sin embargo, al término de este segundo ciclo de vida, las baterías deben ser desechadas o, idealmente, recicladas.

Por otra parte, en el caso de la infraestructura de carga, se tendrán desechos en la construcción, asociados al restante de materiales (cables aislados y tuberías de PVC) y al cemento utilizado para la base de los cargadores como también a escombros generados por la demolición o destrucción de estructuras preexistentes en el lugar que se planea construir el electro terminal. Como desecho residual, se tendrán los cargadores (cables y placas electrónicas), cableado de cobre, tuberías de PVC y tableros metálicos que podrán ser reciclados dependiendo del caso. Aún no existen datos exactos sobre datos residuales de infraestructura de carga que haya sido reemplazada en el país que permitan dar indicios de protocolos que se deben cumplir.

11.5 Terminal comunitario

Considerando que los equipos no estarán todo el tiempo utilizando el terminal de carga en la base provincial, es posible destinar el horario en que el MOP no utilice el terminal. De esta forma, mientras no exista una flota completa convertida a eléctrica que utilice en la totalidad del tiempo la estación de carga, se podría hacer un aporte a la comunidad aledaña (empresas o público general) a las bases provinciales permitiendo hacer uso del terminal en un horario específico, asumiendo el costo de carga exclusivamente. Esta iniciativa podría ayudar a impulsar la electromovilidad como también ayudar a la comunidad a reducir los costos de movilización.

11.6 Gases contaminantes

Convertir las flotas a vehículos eléctricos tiene como uno de los principales beneficios la eliminación de emisiones de gases de efecto invernadero. Además, es posible tener un sistema de electromovilidad completamente “cero emisiones” si la energía con la que se abastece el electro terminal proviene de energías renovables. En caso contrario, aproximadamente un 50% de la energía contendría emisiones. El resumen de emisiones por ciclo de operación de los vehículos y maquinarias se muestra a continuación en la Tabla 27.

Tabla 27: Resumen de emisiones por ciclo de operación según tipo de vehículo.

Tipo de vehículo	Marca y modelo ejemplo	Emisiones de CO2 por año [ton]	Emisiones de CO2 por ciclo de operación [ton]
Camiones chasis-cabina	HINO - XZU 617 DC	85,279	852,790
Camiones tolva	FOTON - AUMAN 3938 E5	194,299	1.942,990
Tractocamiones	FOTON - AUMAN 2556R 6X4 E5	286,347	2.863,470
Camionetas	MAXUS - T60 DCAB 4X4 2.8	0,648	6,475
Rodillos vibratorios	HAMM - 3412 HT	32,213	322,133
Barredoras	BROOM - DT80CT	24,077	240,768
Excavadora Oruga	JOHN DEERE - 200G	45,557	455,568

Tipo de vehículo	Marca y modelo ejemplo	Emisiones de CO2 por año [ton]	Emisiones de CO2 por ciclo de operación [ton]
Montacargas	HANGCHA - CPCD35 XW33E RT	33,318	333,184
Cargadores Frontales	JOHN DEERE - 744-J	75,407	754,066
Minicargador frontal	CATERPILLAR - 246B	7,473	74,726
Motoniveladora	JOHN DEERE - 672G	60,183	601,830

Para el cálculo anterior, se utilizaron como referencia vehículos y maquinarias extraídos de la base de datos entregada por el MOP [31]. Se consideraron los vehículos más nuevos para este cálculo (2023), obteniendo las especificaciones técnicas de los vehículos correspondientes. Además, se consideró una concentración de azufre en el diésel de 15 [ppm] [35]. Los valores de la tabla presentados fueron calculados utilizando la herramienta CALMAQ+, a excepción de las camionetas. Para el cálculo de emisiones de CO2 por ciclo de operación, se considera un ciclo de operación de 10 años por vehículo, considerando para el cálculo de las emisiones que los vehículos trabajan durante 365 días. Las horas por año trabajadas por cada equipo se establecieron a partir de la base de datos presente en la plataforma de CALMAQ+, clasificando los equipos en la categoría “construcción” o, en su ausencia, “industrial”. Para los detalles de los resultados, favor chequear la hoja “Emisiones por vehículo (CALMAQ)” en la referencia [36].

Para el caso de las camionetas, se utilizó un estimativo de 185 gramos de CO2 emitido por kilómetro recorrido [37]. considerando que este tipo de vehículos recorre aproximadamente 3.500 [km/año], según los datos recopilados de la información del proyecto.

11.7 Transferencia de conocimiento

Por otra parte, es importante considerar la transferencia de conocimiento debido a que se involucra una nueva tecnología de la cual no se tiene pleno conocimiento de cómo ser utilizada. Además, es importante considerar que el conocimiento tiene que llegar a todas las regiones del país, cuya problemática actual es que la mayor parte del conocimiento se suele concentrar en la región Metropolitana. Como medidas paliativas a este problema, se recomienda crear programas de capacitaciones liderados por expertos en el tema. Esto puede ser considerado como parte del contrato con proveedores, tanto para el caso de vehículos eléctricos como para el caso de infraestructura de carga. Con respecto a este tema, algunas empresas, como Andes Motor, poseen un programa de inducción de operación apoyado por la fábrica y la gerencia de electromovilidad de la misma organización que permite a los operadores adquirir los conocimientos básicos de los equipos.

Además, es importante involucrar a la comunidad para que también adquiera ese conocimiento. Esto se puede lograr habilitando instancias de práctica para estudiantes de colegios técnicos, institutos o universidades que cursen carreras afines a la electromovilidad. De esta manera también se podría fomentar el desarrollo e investigación relacionado al área, fomentando la tecnología nacional.

12. Especificaciones técnicas de equipos considerados en la electrificación

En las siguientes secciones, se expondrán las características técnicas esenciales de los vehículos eléctricos que se mencionan en el informe, tales como la autonomía de la batería, la potencia del motor, los tiempos de carga, y los requisitos de infraestructura de soporte. Además, se abordarán los estándares de seguridad, la conectividad y la adaptabilidad de los vehículos a las diversas necesidades operativas. La siguiente información puede ser utilizada como guía para la realización de las bases técnicas en caso de hacer un proceso de licitación para la adquisición de los vehículos.

12.1 Camiones tolva

Dimensiones

- Distancia (mm) entre ejes (primer eje direccional traccional y primer eje trasero traccional) entre el rango de 3000 a 3300.
- Longitud (mm) entre 9500 y 10500.
- Ancho (mm) entre el rango de 2500 a 2700.
- Altura (mm) entre el rango de 3000 a 3700.

Motor

- Motor tipo síncrono de imán permanente.
- Velocidad máxima (rpm) igual o superior a 1200.
- Velocidad máxima (km/h) igual o superior a 70.
- Potencia máxima al volante (kW) igual o superior a 360.
- Potencia nominal al volante (kW) igual o superior a 250.
- Torque nominal (Nm) igual o superior a 1500.
- Torque máx. (Nm) igual o superior a 1600.

Transmisión

- Número de velocidades superior o igual a 3 + retroceso.
- Gradiente superable igual o superior a 20%.
- Neumáticos
- 295/80R 22,5.

Sistema eléctrico

- Autonomía con carga (km) a velocidad constante (40 km/h) igual o superior a 180.
- Autonomía con carga (km) igual o superior a 150.
- Garantía de las baterías igual o superior a 10 años.
- Voltaje de batería (V) igual o superior a 600.
- Capacidad de baterías (kWh) 282.
- Estándar del conector GBT o CCS2.
- Modo de carga DC.

- Potencia máxima de carga en DC (kW) igual o superior a 240.
- Tiempo mínimo de carga en DC (h) igual o inferior a 2.

12.2 Camiones chasis

Dimensiones

- Distancia (mm) entre ejes (primer eje direccional traccional y primer eje trasero traccional) entre el rango de 2800 Y 4000.
- Longitud (mm) entre 6000 Y 8000.
- Ancho (mm) entre 2200 Y 2500.
- Altura (mm) entre 2500 y 3000.

Motor

- Motor tipo síncrono de imán permanente.
- Velocidad máxima (rpm) igual o superior a 1200.
- Velocidad máxima (km/h) igual o superior a 70.
- Potencia máxima al volante (kW) igual o superior a 85.
- Potencia nominal al volante (kW) igual o superior a 60.
- Torque nominal (Nm) igual o superior a 500.
- Torque máx. (Nm) igual o superior a 850.

Transmisión

- Gradiente superable igual o superior a 20%.
- Neumáticos
- 295/80R 22,5.

Sistema eléctrico

- Autonomía con carga (km) a velocidad constante (40 km/h) igual o superior a 180.
- Autonomía con carga (km) igual o superior a 150.
- Garantía de las baterías igual o superior a 10 años.
- Voltaje de batería (V) igual o superior a 600.
- Capacidad de baterías (kWh) 282.
- Estándar del conector GBT o CCS2.
- Modo de carga DC.
- Potencia máxima de carga en DC (kW) igual o superior a 240.
- Tiempo mínimo de carga en DC (h) igual o inferior a 2,5.

Pesos y capacidades

- Peso baterías (kg) inferior a 3000
- Carga máxima eje delantero (kg) superior o igual a 4500
- Carga máxima eje trasero (kg) superior o igual a 7000
- Capacidad de carga (kg) igual o superior a 14000
- PBV (kg) igual o inferior 25.000
- Otros

- Suspensión delantera y trasera
- Freno regenerativo
- Dirección hidráulica o electrónica
- Barras estabilizadoras.

Pesos y capacidades

- Peso baterías (kg) inferior a 3000.
- Carga máxima eje delantero (kg) superior o igual a 4500.
- Carga máxima eje trasero (kg) superior o igual a 7000.
- Capacidad de carga (kg) igual o superior a 14000.
- PBV (kg) igual o inferior 25.000.

Otros

- Suspensión delantera y trasera
- Freno regenerativo
- Dirección hidráulica o electrónica
- Barras estabilizadoras

12.3 Motoniveladora

Dimensiones

- Longitud (mm) sin escarificador entre 9000 y 10000
- Altura (mm) entre 2500 a 3000.

Motor

- Torque máximo (Nm) igual o superior a 600
- Gradiente superable igual o superior a 20%

Neumáticos

- 455/70 R24

Sistema eléctrico

- Autonomía operativa (h) igual o superior a 5
- Garantía de las baterías igual o superior a 8 años
- Voltaje de batería (V) igual o superior a 600
- Capacidad de baterías (kWh) igual o superior a 280
- Estándar del conector GBT o CCS2
- Modo de carga DC
- Potencia máxima de carga en DC (kW) igual o superior a 240
- Tiempo mínimo de carga en DC (h) igual o inferior a 2,5

Pesos y capacidades

- Peso baterías (kg) inferior a 3000
- Carga máxima eje delantero (kg) superior o igual a 3500
- Carga máxima eje trasero (kg) superior o igual a 11000
- PBV (kg) igual o inferior 20000.

Otros

- Suspensión delantera y trasera
- Freno regenerativo
- Dirección hidráulica o electrónica
- Oscilación del tándem igual o superior a 15°
- Barras estabilizadoras

12.4 Cargador frontal

Dimensiones

- Longitud (mm) entre 8000 y 10000
- Ancho (mm) entre el rango de 2500 a 2700
- Altura (mm) entre el rango de 3000 a 3700
- Altura máxima de descarga de la pala (mm) entre el rango de 2800 y 3500
- Alcance máximo de descarga de la pala (mm) entre el rango de 1100 a 1500
- Altura mínima del suelo (mm) igual o superior a 350
- Radio de giro mínimo (mm) igual o inferior a 7000.

Motor eléctrico de traslado

- Motor tipo síncrono de imán permanente
- Potencia máxima (kW) igual o superior a 200
- Potencia nominal (kW) igual o superior a 150
- Torque nominal (Nm) igual o superior a 1200
- Torque máximo (Nm) igual o superior a 1800

Motor de bomba hidráulica

- Potencia nominal (kW) igual o superior a 50
- Volumen de salida (ml/r) igual o superior a 100
- Presión de trabajo (MPa) igual o superior a 18

Transmisión

- Número de velocidades superior o igual a 2 + retroceso
- Gradiente superable igual o superior a 20%

Sistema eléctrico

- Autonomía operativa (h) igual o superior a 6
- Garantía de las baterías igual o superior a 6 años
- Voltaje de batería (V) igual o superior a 600
- Capacidad de baterías (kWh) igual o superior a 280
- Estándar del conector GBT o CCS2
- Modo de carga DC
- Potencia máxima de carga en DC (kW) igual o superior a 240
- Tiempo mínimo de carga en DC (h) igual o inferior a 2.

Pesos y capacidades

- Peso baterías (kg) inferior a 3000
- Capacidad de carga de balde (m3) igual o superior a 3
- Capacidad de carga (kg) igual o superior a 5000
- PBV (kg) igual o inferior 20.000.

Otros

- Suspensión delantera y trasera
- Freno regenerativo
- Dirección hidráulica o electrónica
- Barras estabilizadoras.

12.5 Camiones tracto

Dimensiones

- Distancia (mm) entre ejes (primer eje direccional traccional y primer eje trasero traccional) entre el rango de 3000 a 4000
- Longitud (mm) entre 7000 y 8000
- Ancho (mm) entre el rango de 2450 a 2700
- Altura (mm) entre el rango de 3500 y 3950.

Motor

- Motor tipo síncrono de imán permanente
- Velocidad máxima (rpm) igual o superior a 1200
- Velocidad máxima (km/h) igual o superior a 70
- Potencia máxima al volante (kW) igual o superior a 350
- Potencia nominal al volante (kW) igual o superior a 225
- Torque nominal (Nm) igual o superior a 1500
- Torque máximo (Nm) igual o superior a 2000.

Transmisión

- Número de velocidades superior o igual a 3 + retroceso
- Gradiente superable igual o superior a 20%

Neumáticos

- 295/80R 22,5

Sistema eléctrico

- Autonomía con carga (km) a velocidad constante (40 km/h) igual o superior a 180
- Autonomía con carga (km) igual o superior a 150
- Garantía de las baterías igual o superior a 10 años
- Voltaje de batería (V) igual o superior a 600
- Capacidad de baterías (kWh) igual o superior a 250
- Estándar del conector GBT o CCS2
- Modo de carga DC
- Potencia máxima de carga en DC (kW) igual o superior a 240

- Tiempo mínimo de carga en DC (h) igual o inferior a 2.

Pesos y capacidades

- Peso baterías (kg) inferior a 3000.
- Carga máximo eje delantero (kg) superior o igual a 7000.
- Carga máximo eje trasero (kg) superior o igual a 9000.
- Capacidad de carga (kg) igual o superior a 35000.
- PBV (kg) igual o inferior 20.000.

Otros

- Suspensión delantera y trasera.
- Freno regenerativo.
- Dirección hidráulica o electrónica.
- Barras estabilizadoras.
- Capacidad de remolque utilizando quinta rueda o elemento de acople para rampla.

12.6 Camión aljibe

Dimensiones

- Distancia (mm) entre ejes (primer eje direccional traccional y primer eje trasero traccional) entre el rango de 3000 a 3600.
- Longitud (mm) entre 9500 y 10500.
- Ancho (mm) entre el rango de 2500 a 2700.
- Altura (mm) entre el rango de 3000 a 3700.

Motor

- Motor tipo síncrono de imán permanente.
- Velocidad máxima (rpm) igual o superior a 1200.
- Velocidad máxima (km/h) igual o superior a 70.
- Potencia máxima al volante (kW) igual o superior a 360.
- Potencia nominal al volante (kW) igual o superior a 250.
- Torque nominal (Nm) igual o superior a 1500.
- Torque máximo (Nm) igual o superior a 1600.

Transmisión

- Número de velocidades superior o igual a 3 + retroceso.
- Gradiente superable igual o superior a 20%.

Neumáticos

- 295/80R 22,5

Sistema eléctrico

- Autonomía con carga (km) a velocidad constante (40 km/h) igual o superior a 180 Autonomía con carga (km) igual o superior a 150.
- Garantía de las baterías igual o superior a 10 años.
- Voltaje de batería (V) igual o superior a 600.

- Capacidad de baterías (kWh) 282.
- Estándar del conector GBT o CCS2.
- Modo de carga DC.
- Potencia máxima de carga en DC (kW) igual o superior a 240.
- Tiempo mínimo de carga en DC (h) igual o inferior a 2.

Pesos y capacidades

- Peso baterías (kg) inferior a 3000.
- Carga máxima eje delantero (kg) superior o igual a 7000.
- Carga máxima eje trasero (kg) superior o igual a 25.000.
- Capacidad de carga (kg) igual o superior a 28.000.
- PBV (kg) igual o inferior 20.000.

Otros

- Suspensión delantera y trasera.
- Freno regenerativo.
- Dirección hidráulica o electrónica.
- Barras estabilizadoras.

Estanque de almacenamiento

- Tipo de acero inoxidable
- Capacidad de carga (L) igual o superior a 15000.

13. Conclusiones

Después de un análisis exhaustivo, se ha llegado a la conclusión de que la electrificación de maquinarias y vehículos en el Ministerio de Obras Públicas es completamente viable desde diversos aspectos. La tecnología necesaria para la electrificación, en lo que respecta al piloto, ya está disponible en el mundo y en constante desarrollo, lo que asegura que la alternativa eléctrica es adecuada para una amplia gama de aplicaciones. Desde una perspectiva económica, también es viable, ya que, aunque la inversión inicial en la electrificación puede parecer significativa, nuestros análisis han demostrado que en algunas unidades seleccionadas, el costo total de operación es menor en comparación con las alternativas de combustibles tradicionales. Los costos iniciales de electrificación de algunos vehículos pueden ser compensados por los ahorros a largo plazo en combustible y mantenimiento. Esto se debe a varios factores, como los menores costos de energía eléctrica en comparación con los combustibles fósiles, así como los ahorros en mantenimiento debido a la simplicidad y durabilidad de los sistemas eléctricos.

Los avances tecnológicos necesarios para la electrificación de maquinarias y vehículos del proyecto piloto ya existen y ha sido probada en algunas aplicaciones similares al contexto de este proyecto. Los motores eléctricos, las baterías y los SGE son cada vez más eficientes y confiables, lo que permite una correcta implementación para reemplazar parte de los equipos diésel del MOP. Además, si se sigue la estructura de implementación y adquisición planteada en el informe, la electrificación no sólo es teóricamente posible, sino que también es práctica y factible desde el punto de vista técnico y económico.

La integración de vehículos menores eléctricos, maquinaria y camiones eléctricos en la flota del Ministerio de Obras Públicas de Chile ha demostrado ser una medida estratégica para la reducción de costos operacionales, en algunos casos. La transición a la electromovilidad no solo implica un impacto positivo en el medio ambiente, sino que también conlleva una disminución significativa en el gasto de combustibles fósiles y mantenimiento de vehículos. Los vehículos eléctricos, al tener menos partes móviles que sus contrapartes de combustión interna, requieren menos mantenimiento y son más eficientes energéticamente, lo que se traduce en ahorros a largo plazo. Además, el uso de energía eléctrica, que puede ser generada a partir de fuentes renovables, ofrece una alternativa más económica y estable en comparación con los precios volátiles del petróleo.

En adición, los estudios realizados han demostrado que la electrificación puede integrarse sin interrupciones significativas en las operaciones existentes. Las nuevas tecnologías eléctricas pueden ofrecer incluso ventajas adicionales, como un rendimiento más silencioso y suave, así como un ahorro en labores de mantenimiento. Además, las soluciones de carga flexible, como utilizar bancos de carga portátiles, significan que las operaciones pueden adaptarse para minimizar cualquier impacto en la productividad, realizando las labores en faena tal como se realizan con los vehículos diésel. Se destaca que para que esto ocurra es necesario administrar correctamente la carga de los vehículos,

aprovechando los tiempos de almuerzo de los trabajadores y los tiempos en que la maquinaria está fuera de horario laboral para ser cargada.

En general, la implementación de la electromovilidad en el Ministerio de Obras Públicas de Chile marca un hito significativo hacia un futuro más sostenible y eficiente. Este esfuerzo no solo refleja el compromiso del país con la reducción de la huella de carbono y la mejora de la calidad del aire urbano, sino que también establece un precedente para la modernización de la infraestructura pública. Con la adopción de vehículos eléctricos y la instalación de estaciones de carga, Chile está liderando por ejemplo en la región, promoviendo la innovación y fomentando una cultura de responsabilidad ambiental. En este caso, la electrificación de los vehículos planteados en el proyecto piloto podría significar la no emisión de 902,5584 [ton] de dióxido de carbono equivalente al carbono capturado por 13.539 plántulas de árboles urbanos crecidas durante 10 años según la calculadora de equivalencia de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [38]. Además, podría servir de ejemplo para otros proyectos similares que se lleven a cabo en Latinoamérica. Este proyecto no solo beneficia al medio ambiente, sino que también ofrece una oportunidad económica al estimular la industria local y atraer inversiones en tecnologías limpias. A medida que se avanza en este ámbito, es esencial continuar con la evaluación y el ajuste anual de las estrategias para garantizar que los objetivos de electromovilidad se alineen con las necesidades cambiantes de la sociedad y el entorno tecnológico.

Con la inminente expansión de la electrificación vehicular, la cantidad de equipos que se espera que se electrifiquen es significativa. A pesar de que el proyecto piloto pueda no ser económicamente conveniente, los datos obtenidos durante este proyecto serán de vital importancia, ya que no solo brindarán una comprensión profunda de los desafíos y beneficios inherentes a la transición eléctrica del país, sino que también servirán como guía para la electrificación masiva de las flotas del Ministerio de Obras Públicas. Es por ello que se deben emplear todas las herramientas disponibles para analizar los resultados parciales y finales del proyecto piloto.

Es crucial enfatizar la importancia de realizar una verificación anual de la hoja de ruta del proyecto de electromovilidad. Este proceso de revisión permite al Ministerio de Obras Públicas de Chile adaptarse a los rápidos avances tecnológicos y a la creciente oferta de vehículos eléctricos en el mercado. La industria de vehículos eléctricos está en constante evolución, con mejoras en la autonomía de las baterías, reducción de tiempos de carga y diversificación de modelos adecuados para diferentes usos operativos. Al mantener la hoja de ruta actualizada, el Ministerio puede asegurarse de que su flota sea la más avanzada y eficiente, aprovechando las últimas innovaciones para seguir reduciendo los costos operacionales y el impacto ambiental.

La revisión anual del roadmap también facilita la identificación de oportunidades para expandir la infraestructura de carga y mejorar las políticas de incentivos para la adquisición de vehículos eléctricos, tanto a nivel gubernamental como en el sector privado. Al trabajar políticas, Chile no solo fortalecerá su liderazgo en sostenibilidad, sino que también promovería un entorno propicio para la adopción de

la electromovilidad a nivel nacional, contribuyendo así al objetivo global de transición hacia una economía baja en carbono.

La implementación de camiones eléctricos para tareas de construcción y mantenimiento también ha resultado en una operación más silenciosa y limpia, lo que mejora la calidad de vida de los trabajadores y de la comunidad en general. Estos beneficios económicos y sociales refuerzan la decisión del Ministerio de adoptar la electromovilidad como una solución integral para el transporte y la logística, estableciendo un modelo a seguir para otras entidades gubernamentales y el sector privado. Con la adopción continua y el apoyo a la innovación en este campo, Chile está en camino de transformar su infraestructura de transporte en una más verde, eficiente y económicamente sostenible.

Es importante reconocer que, aunque la implementación inicial de maquinaria en el Ministerio de Obras Públicas de Chile implica altos costos debido a la baja oferta y los precios elevados, esta inversión inicial es un paso estratégico hacia un cambio sistémico. Los costos más altos son un reflejo de una industria emergente; sin embargo, a medida que la demanda aumenta, se espera que la oferta también crezca, lo que eventualmente conducirá a una reducción de precios.

Al ser pioneros en la adopción de estas tecnologías, Chile tiene la oportunidad de liderar en la generación de datos valiosos sobre el uso, rendimiento y mantenimiento de la electromovilidad en operaciones a gran escala. Estos datos no solo ayudarán al Ministerio a optimizar sus propias operaciones, sino que también proporcionarán información crucial para que otros actores del mercado mejoren sus productos y servicios.

En última instancia, la inversión inicial y los desafíos asociados a la adopción de la electromovilidad se compensarán con los beneficios a largo plazo de una industria más robusta, una economía más dinámica y un medio ambiente más limpio. Por lo tanto, es esencial mantener una perspectiva a largo plazo y reconocer que los pasos que se están tomando hoy sentarán las bases para un futuro más sostenible y económicamente viable, permitiendo de esta manera seguir el camino hacia las metas de carbono neutralidad que tiene Chile.

14. Bibliografía

- [1] Ministerio de Obras Pública, Gobierno de Chile, «Manual de Carreteras Volumen N°7: Mantenimiento Vial,» Ministerio de Obras Públicas, Santiago de Chile, 2010.
- [2] Públicas, Ministerio de Obras, Gobierno de Chile, «Datos de Costo para Electromovilidad,» febrero 2024. [En línea]. Available: https://docs.google.com/spreadsheets/d/14dC4Ft5y_1GcZOm396LDny7N6wciJ5rS/edit?usp=sharing&oid=105444903246935025422&rtopf=true&sd=true.
- [3] Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile, «Geolocalización cargador frontal,» enero 2024. [En línea]. Available: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Sflz3N4F49zoUgm7XkOvqt2eXLfbvkF4/edit?usp=sharing&oid=109716221805734057160&rtopf=true&sd=true>.
- [4] Ministerio de Medio Ambiente, Gobierno de Chile, «Estrategia climática de largo plazo de Chile,» [En línea]. Available: <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/11/ECLP-LIVIANO.pdf>. [Último acceso: 25 abril 2024].
- [5] Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, «Políticas, estrategias de electromovilidad en Chile,» Plataforma de Electromovilidad, [En línea]. Available: <https://energia.gob.cl/electromovilidad/orientaciones-de-politicas-publicas>. [Último acceso: 1 marzo 2024].
- [6] Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, «Estrategia Nacional de Electromovilidad”. Ministerio de Energía,» [En línea]. Available: https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/estrategia_nacional_de_electromovilidad_2021_0.pdf. [Último acceso: 25 abril 2024].
- [7] Naciones Unidas, «Net Zero Coalition,» [En línea]. Available: <https://www.un.org/es/climatechange/net-zero-coalition>. [Último acceso: 25 abril 2024].
- [8] Gobierno de Chile, «Solicitud de homologación de vehículos livianos y medianos (nuevos/sin uso),» ChileAtiende, [En línea]. Available: <http://www.chileatiende.gob.cl/fichas/7/1/pdf>. [Último acceso: 25 abril 2024].

- [9] Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, «LEY 21505: Promueve el almacenamiento de energía eléctrica y la electromovilidad,» Biblioteca del Congreso Nacional, [En línea]. Available: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1184572>. [Último acceso: 11 mayo 2024].
- [10] Ó. Muñoz., «Barcelona hace una prueba piloto con maquinaria eléctrica en obras de la calle,» La Vanguardia, [En línea]. Available: <https://www.lavanguardia.com/local/barcelona/20220629/8373883/obras-maquinaria-electrica-barcelona-ruido-contaminacion.html>. [Último acceso: 1 marzo 2024].
- [11] E. Barcelona, «Endolla participa en una prueba piloto para recargar maquinaria eléctrica de obras,» Endolla Barcelona, [En línea]. Available: <https://endolla.barcelona/es/noticias/servicio-endolla/endolla-participa-en-una-prueba-piloto-recargar-maquinaria-electrica-obras>. [Último acceso: 6 mayo 2024].
- [12] Salir por Barcelona, «Barcelona estrena su primera obra municipal con maquinaria 100% eléctrica,» Salir por Barcelona, [En línea]. Available: <https://www.salirporbarcelona.com/barcelona-estrena-su-primera-obra-municipal-con-maquinaria-100-electrica/>. [Último acceso: 6 mayo 2024].
- [13] The Mining Association of Canada, «Newmont's All-Electric Borden Mine - The Mining Association of Canada,» The Mining Association of Canada, [En línea]. Available: <https://mining.ca/resources/canadian-mining-stories/newmonts-all-electric-borden-mine/>. [Último acceso: 25 abril 2024].
- [14] Medatech, «Battery Electric Motor Grader Retrofit,» [En línea]. Available: <https://medatech.ca/case-study/battery-electric-motor-grader-retrofit>. [Último acceso: 25 abril 2024].
- [15] A. Hiyate, «Part III of our electric mines series: Collaboration key to innovation at Borden,» Canadian Mining Journal, [En línea]. Available: <https://www.canadianminingjournal.com/featured-article/part-iii-of-our-electric-mines-series-collaboration-key-to-innovation-at-borden/>. [Último acceso: 6 mayo 2024].
- [16] L. Barnard, «Major cities make push on electric construction equipment,» Construction Briefing, [En línea]. Available: <https://www.constructionbriefing.com/news/major-cities-make-push-on-electric-construction-equipment/8017791.article>. [Último acceso: 1 marzo 2024].
- [17] A. d. M. A. Urbano, «Utslippsfri anleggsplass: Bymiljøetatens erfaring med elektriske anleggsmaskiner i Olav Vs gate,» abril 2024. [En línea]. Available:

<https://drive.google.com/file/d/1bwAzjKGts0tPV63YR8n8anSX5KmrWRrB/view?usp=sharing>.

- [18] M. Keegan, «The Scandinavian way to zero-carbon construction,» BBC, [En línea]. Available: <https://www.bbc.com/future/article/20210622-the-scandinavian-way-to-zero-carbon-construction>. [Último acceso: 25 abril 2024].
- [19] J. Borrás, «World's First: Zero Emission Electric Construction Site,» Clean Technica, [En línea]. Available: <https://cleantechnica.com/2020/04/09/worlds-first-zero-emission-electric-construction-site/>. [Último acceso: 6 mayo 2024].
- [20] Corporación de Desarrollo Tecnológico, «Ciudades europeas impulsan el uso de maquinarias eléctricas para generar proyectos de construcción cero emisión,» CDT, [En línea]. Available: <https://www.cdt.cl/ciudades-europeas-impulsan-el-uso-de-maquinarias-electricas-para-los-proyectos-de-construccion-cero-emision/>. [Último acceso: 6 mayo 2024].
- [21] Wacker Neuson, «Large construction site in Vienna: Battery-powered tools for practical daily use,» Wacker Neuson Magazine, [En línea]. Available: <https://magazine.wackerneuson.com/en/large-construction-site-in-vienna-battery-powered-tools-for-practical-daily-use/>. [Último acceso: 6 mayo 2024].
- [22] Wacker Neuson, «Electric construction machines impress in practical test in Stuttgart inner city,» Wacker Neuson Magazine, [En línea]. Available: <https://magazine.wackerneuson.com/en/electric-construction-machines-impress-in-practical-test-in-stuttgart-inner-city/>. [Último acceso: 6 mayo 2024].
- [23] Hitachi Construction Machinery, «Hitachi Construction Machinery helps to build a better Stockholm,» Hitachi Construction Machinery, [En línea]. Available: <https://www.hitachicm.com/eu/en/press-center/Hitachi-Construction-Machinery-helps-to-build-a-better-Stockholm/>. [Último acceso: 6 mayo 2024].
- [24] Chilexpress, «Informe de avance: Sostenibilidad,» 2022. [En línea]. Available: https://sostenibilidad.chilexpress.cl/assets/doc/reportes/informe_avance_sostenibilidad_2022.pdf. [Último acceso: 6 marzo 2024].
- [25] Portal Minero, «Minera Centinela lanzó la flota de camionetas eléctricas más grande de la industria minera en Chile,» Portal Minero, [En línea]. Available: <https://www.portalminero.com/wp/minera-centinela-lanzo-la-flota-de-camionetas-electricas-mas-grande-de-la-industria-minera-en-chile>. [Último acceso: 6 marzo 2024].

- [26] ElectroMov, «SQM amplía su flota de vehículos eléctricos,» ElectroMov, [En línea]. Available: <https://www.electromov.cl/2023/04/04/sqm-amplia-su-flota-de-vehiculos-electricos/>. [Último acceso: 6 marzo 2024].
- [27] Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, «Buses eléctricos de RED Metropolitana de Movilidad,» Plataforma de Electromovilidad, [En línea]. Available: <https://energia.gob.cl/electromovilidad/transporte-de-pasajeros/buses-electricos-red>. [Último acceso: 6 marzo 2024].
- [28] Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO), «Mineros y mineras de Codelco se transportarán en los primeros buses eléctricos hechos en Chile,» CODELCO, [En línea]. Available: <https://www.codelco.com/prensa/2022/mineros-y-mineras-de-codelco-se-transportaran-en-los-primeros-buses>. [Último acceso: 6 marzo 2024].
- [29] Enel X, «CMP transforma su flota de buses en 100% eléctrica e inaugura primer electro terminal en la Región de Atacama junto a Enel X, Verschae y Flex,» Enel X, [En línea]. Available: <https://www.enelx.com/cl/es/historias/2023/09/buses-electricos-para-la-mineria-CMP>. [Último acceso: 6 marzo 2024].
- [30] CNN Chile, «SQM y Enel X adquieren el primer modelo de camión minero eléctrico para Chile,» CNN Chile, [En línea]. Available: https://www.cnnchile.com/economia/sqm-enel-x-primer-camion-minero-electrico_20211020. [Último acceso: 6 marzo 2024].
- [31] Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile, «Datos de Flota de Vehículos y Maquinaria,» [En línea]. Available: https://docs.google.com/spreadsheets/d/1tLcQTAPHsmt1NnZC66_rMqZb1DCdutsp2QCkLaTNF_Q/edit?usp=sharing.
- [32] Enérgica City, «Análisis Económico de Electrificación de Flota,» [En línea]. Available: https://drive.google.com/drive/folders/14oW477ceqQrmyOOON8njr54-fdeUOT_R?usp=drive_link.
- [33] Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile, «La Política Ambiental y Territorial participativa del Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Telecomunicaciones de Chile,» Ministerio de Obras Públicas, [En línea]. Available: <https://www.mop.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/Politica-Ambiental-MOP.pdf>. [Último acceso: 25 abril 2024].
- [34] Electromov, «Operación de buses eléctricos en terminales reduce a la mitad la potencia acústica,» Electromov, [En línea]. Available:

<https://www.electromov.cl/2023/10/02/operacion-de-buses-electricos-en-terminales-reduce-a-la-mitad-la-potencia-acustica/>. [Último acceso: 6 mayo 2024].

- [35] Ministerio de Medio Ambiente, Gobierno de Chile, «Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana,» Aire Región Metropolitana – Ministerio del Medio Ambiente, [En línea]. Available: <https://airerm.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/05/Cap-5.-Combustion-vehiculos.pdf>. [Último acceso: 25 abril 2024].
- [36] Enérgica City, «MOP: Activos por tipología,» [En línea]. Available: https://drive.google.com/drive/folders/14oW477ceqQrmyOOON8njr54-fdeUOT_R?usp=drive_link.
- [37] European Environment Agency, «Average emissions from new cars and vans in Europe continue to fall, according to provisional data,» [En línea]. Available: <https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/news/average-emissions-from-new-cars-and-vans>. [Último acceso: 25 abril 2024].
- [38] Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, «Calculador de equivalencias de gases de efecto invernadero,» EPA, [En línea]. Available: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculador-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero#results>. [Último acceso: 15 mayo 2024].

15. Anexo

15.1 Información de vehículos

15.1.1 Camiones chasis-cabina

En la Tabla 28 se pueden observar datos de los camiones chasis-cabina mapeados. Según lo conversado con proveedores, estos camiones pueden ser adaptados para operar como camiones planos, aljibe, grúa o variantes según la necesidad del Ministerio de Obras Públicas, pero se debe considerar el costo adicional de las modificaciones. Los precios mostrados en la lista corresponden a los camiones en su versión por defecto.

Tabla 28: Datos comerciales de camiones chasis-cabina.

Marca	Modelo	Peso del vehículo [kg]	Capacidad de carga [kg]	Precio [USD]	Cap. Batería [kWh]	Autonomía [km]	Estándar de carga
Mercedes Benz	e-Actros 300	8.596	10.404	400.000	336	300	CCS2
Foton	e-Aumark S	2.425	3.575	-	81	208	CCS2
Maxus	ET-516	2.400	2.095	55.000	81,1	240	GB/T
Maxus	ET-2325 6x2	8.220	14.780	170.000	314,1	335	GB/T
Maxus	ET-1825 4x2	6.990	11.010	155.000	314,1	335	GB/T
Maxus	ET-714	3.200	4.290	88.500	127,1	213	GB/T
Maxus	ET-916	3.735	4.765	96.000	162,3	300	GB/T
JAC	N55	3.350	2.150	64.000	96,8	200	CCS2
JAC	N75	3.310	6.190	68.500	107	200	CCS2
JMC	EV Conquer 6,0T	4.495	6.000	90.000	162,2	190	CCS2
JMC	EV Conquer 2,7T	3.300	2.700	54.000	81,1	190	CCS2
Fuso	eCanter 718 4x2	3.230	3.270	91.500	83,3	140	CCS2
Fuso	eCanter 818 4x2	3.295	4.205	95.500	83,3	140	CCS2
Fuso	eCanter 918 4x2	3.495	5.055	100.000	83,3	140	CCS2
Fuso	eCanter 918 L 4x2	3.950	4.600	117.000	125	200	CCS2
Voltera	Farizon F3E	1.445	1.455	-	61,8	310	GB/T
Voltera	Farizon E200S	2.360	1.500	-	66,8	295	GB/T
Voltera	Farizon E200S 4.5T	3.080	1.415	-	81,1	360	GB/T
Voltera	Farizon E200 8T	4.100	3.900	-	107	200	GB/T

15.1.2 Camiones tolva

En la Tabla 29 se pueden observar datos de los camiones tolva mapeados durante el periodo de investigación y búsqueda.

Tabla 29: Datos comerciales de camiones tolva.

Marca	Modelo	Peso del vehículo [kg]	Capacidad de carga [kg]	Precio [USD]	Cap. Batería [kWh]	Autonomía [km]	Estándar de carga
Maxus	ET4849		30.100	280.000	282	150	GB/T
Yutong	Dumper recargable 8 x 4	17500/19200	30.000	268.700	396		

15.1.3 Tractocamiones

En la Tabla 30 se pueden observar los datos comerciales de los tractocamiones o semirremolques que se han encontrado durante la búsqueda realizada hasta la fecha. Todos los precios se encuentran en dólares según el proveedor, de acuerdo con el levantamiento de información realizado durante el trabajo.

Tabla 30: Datos comerciales de tractocamiones.

Marca	Modelo	Peso del vehículo [kg]	Capacidad de carga [kg]	Precio [USD]	Cap. Batería [kWh]	Autonomía [km]	Estándar de carga
Sany	JS EV 500 JIANGSHAN 6x4 composite	10.700	75.000	-	282/350/423	150	GB/T
Sany	JS EV 500 JIANGSHAN 6x4 super	12.400	120.000	-	282/350	150	GB/T
Sany	JS EV 550 JIANGSHAN 6x4 super	12.800	120.000	-	350	150	-
Sany	EV490-30 6x4	-	120.000	-	350	-	-
Sany	EV490-20 4x2	-	80.000	-	350	-	-
Sany	EV490-25 6x4	-	80.000	-	350	442	CCS1
King Long	XMQ4180BEVL	8.500	42.000	-	210/282	240	CCS1
King Long	XMQ4250BEVL	10.200/10.600/11.000	49.000	-	282	241	-
Freightliner	eCascadia 4x2 ó 6x4	7.416/8.505/9.888	29.483/37.195	-	291/438	531	CCS1
Tesla	Semi	-	-	-	599	482/805	-
Maxus	ET-2549 Tracto 6x4 (350 kWh)	-	38.000	280.000	350	186	-
Maxus	ET-2549 Tracto 6x4 (282 kWh)	-	38.000	263.000	282	150	-
Maxus	ET-1849 4x2	-	32.600	243.000	282	150	-
Volvo	FH 6x4	-	44.000	425.800	180-540 (2-6 bat)	300	-

Marca	Modelo	Peso del vehículo [kg]	Capacidad de carga [kg]	Precio [USD]	Cap. Batería [kWh]	Autonomía [km]	Estándar de carga
Volvo	FL 4X2	-	16.700	-	200-395 (3-6 bat)	300	-
Volvo	FE	-	30.000	-	200-265 (3-4 bat)	200	-
Volvo	VNR Electric 6x4 Tractor	-	37.195	-	375-565 (4-6 bat)	280/442	CCS1/CCS2
Peterbilt	579 EV	-	37.195	-	400	240	-
Nikola	TRE BEV	-	37.195	288.000	733	530	CCS1

15.1.4 Camionetas

En la Tabla 31 se pueden observar los datos comerciales de las camionetas que se han encontrado durante la búsqueda realizada hasta la fecha. Todos los precios se encuentran en dólares (aproximado), de acuerdo con el levantamiento de información realizado durante el primer mes de trabajo.

Tabla 31: Datos comerciales de camionetas.

Marca	Modelo	Peso del vehículo [kg]	Capacidad de carga [kg]	Precio de Pizarra [USD]	Cap. Batería [kWh]	Autonomía [km]	Estándar de carga
JMC	Vigus EV	3.495	1.390	41.110	60	400	CCS2
Maxus	FT ET90	3.300	1.000	50.000	88,5	332	CCS2
Voltera	R6	3.220	965	47.780	77	403	GB/T

15.1.5 Rodillos vibratorios

En la Tabla 32 se pueden observar los datos comerciales de los rodillos vibratorios que se han encontrado durante la búsqueda realizada.

Tabla 32: Datos comerciales de rodillos vibratorios

Marca	Modelo	Peso del vehículo [kg]	Fuerza de apisonamiento [kN]	Frecuencia [Hz]	Precio de Pizarra [USD]	Cap. Batería [kWh]	Estándar de carga
Ammann	eARX 26-2	2.640	29-41	55-66	-	31,5	-
Wacker Neuson	RD24e-100	3.000	35-49	51-65	-	23,4	-
Hamm	HD10e	3.030	36,6	-	-	23,4	Conector tipo F 16A
Dynapac	CC900 e	1.755	13,6	60	-	14,8	-

Dentro de los rodillos mostrados en la tabla, debido a la diferencia de fuerza entre ellos, se recomienda evaluar la fuerza necesaria para realizar los trabajos y en base a ello seleccionar el rodillo más adecuado para la faena.

15.1.6 Barredoras

En la Tabla 33 se pueden observar los datos comerciales de las barredoras hombre a bordo que se han encontrado durante la búsqueda realizada hasta la fecha.

Tabla 33: Datos comerciales de barredoras.

Marca	Modelo	Peso del vehículo [kg]	Capacidad recolector [L]	Precio de Pizarra [USD]	Cap. Batería [kWh]	Autonomía [h]
Wolf	Wolf S1250	380	80	6.060	3,12	>4
Fiorentini	S28B	442	70	16.914	-	3,2
Fiorentini	S38B	-	-	60.884	20	04-jun
Aquapress	KW1400C	400	70	9.443	-	5
Aquapress	SC2008	630	-	12.355	-	-
Glanz	HT100 E	-	-	15.440	-	-
HAKO	Sweepmaster P1500	1.465	250	-	-	-
Sauber	B1460R	-	160	14.444	-	-

15.1.7 Excavadora oruga

En la Tabla 34 se pueden observar los datos comerciales de las excavadoras oruga que se han encontrado durante la búsqueda realizada hasta la fecha.

Tabla 34: Datos comerciales de excavadoras de oruga

Marca	Modelo	Peso del vehículo [kg]	Capacidad de carga [kg]	Precio de Pizarra [USD]	Cap. Batería [kWh]	Autonomía [h]
XCMG	XE270E	29.800	-	-	525	6
Sany	SY215E	22.000	-	368.000	-	-

15.1.8 Miniexcavadora oruga

En la Tabla 35 se pueden observar los datos comerciales de las excavadoras oruga que se han encontrado durante la búsqueda realizada hasta la fecha. Se espera la respuesta de proveedores para completar los datos restantes.

Tabla 35: Datos comerciales de miniexcavadoras de oruga.

Marca	Modelo	Peso del vehículo [kg]	Capacidad de carga [kg]	Precio de Pizarra [USD]	Cap. Batería [kWh]	Autonomía [h]
Everun	ERE12E (MINI)	1.100	1.100	-	9,6	6
JCB	19C E (MINI)	1.901	1.902	-	14,8	4/5 (4 bat)

15.1.9 Montacargas

En la Tabla 36 se pueden observar los datos comerciales de las montacargas o grúa horquilla que se han encontrado durante la búsqueda realizada hasta la fecha.

Tabla 36: Datos comerciales de montacargas

Marca	Modelo	Peso del vehículo [kg]	Capacidad de carga [kg]	Precio de Pizarra [USD]	Cap. Batería [kWh]
Hyster	J1.5-3.5UT	5.400	3.500	-	40
Hyster	J30XN	2.330	1.360	-	37
Hyster	E30-40XN	3.719	2.000	-	48
Hyster	E120XN	8.824	5.500	-	80
Fullen	CLG 2020A-SE	3.450	2.000	23.600	34,6
EFG	3	3.290	1.600/1.800/2.000	-	-
Doosan	B20S	3.342	2.000	-	-
Mitsubishi	FB20ANT 3F 48V	3.030	2.000	50.000	-
HELI	CPD50-GBLI	-	5000	70.500	48,48
HELI	CPD30-GB2Li-M	-	3000	42.800	32,32
TCM	FB25-8-V0	3.990	2.500	-	-

Se debe evaluar el tipo de grúa horquilla que se implementará en las faenas que corresponda debido a la diferencia existente de precios y capacidad de carga. Sin embargo, se incluyeron aquellos montacargas con capacidades que estuvieran dentro del rango de los valores de los vehículos dados en la lista de adquiridos del MOP.

15.1.10 Cargadores frontales

En la Tabla 37 se pueden observar los datos comerciales de las frontales que se han encontrado durante la búsqueda realizada hasta la fecha. Se espera la respuesta de proveedores para completar los datos restantes.

Tabla 37: Datos comerciales de cargadores frontales.

Marca	Modelo	Peso del vehículo [kg]	Capacidad de carga [kg]	Precio de Pizarra [USD]	Cap. Batería [kWh]	Autonomía [h]
XCMG	XC968EV	18.800	5.800	-	282	05-jun
Sany	SW956E	19.000	5.800	285.000	282	06-ago
Socma	HNL50 EL	18.500	5.500	133.800	282	8
Liugong	856H-E	19.971	5.800	-	350	-

En este caso, también es de vital importancia evaluar el cargador frontal adecuado para cada faena. Considerando todos los cargadores frontales con precio de la tabla, el promedio de precios es de \$128.412 USD, aproximadamente.

15.1.11 Motoniveladora

En la Tabla 38 se puede observar la marca y modelo de la única motoniveladora eléctrica encontrada hasta la fecha. Los datos de la tabla se completarán apenas el proveedor envíe su respuesta.

Tabla 38: Datos comerciales de motoniveladoras.

Marca	Modelo	Peso del vehículo [kg]	Capacidad de carga [kg]	Precio de Pizarra [USD]	Cap. Batería [kWh]	Autonomía [h]
HBM - Nobas	BG 180 TA-E	-	-	970.000	-	<8
HBM - Nobas	BG 120 TA-E	840	15.500	790.000	325	<8

15.2 Resumen gráfico y conclusiones generales

15.2.1 Información general

En la Figura 17, se puede observar un gráfico que resume la cantidad de ofertas encontradas en el mercado chileno de los diferentes tipos de vehículos que se podrían utilizar en las operaciones de acuerdo con la información levantada.

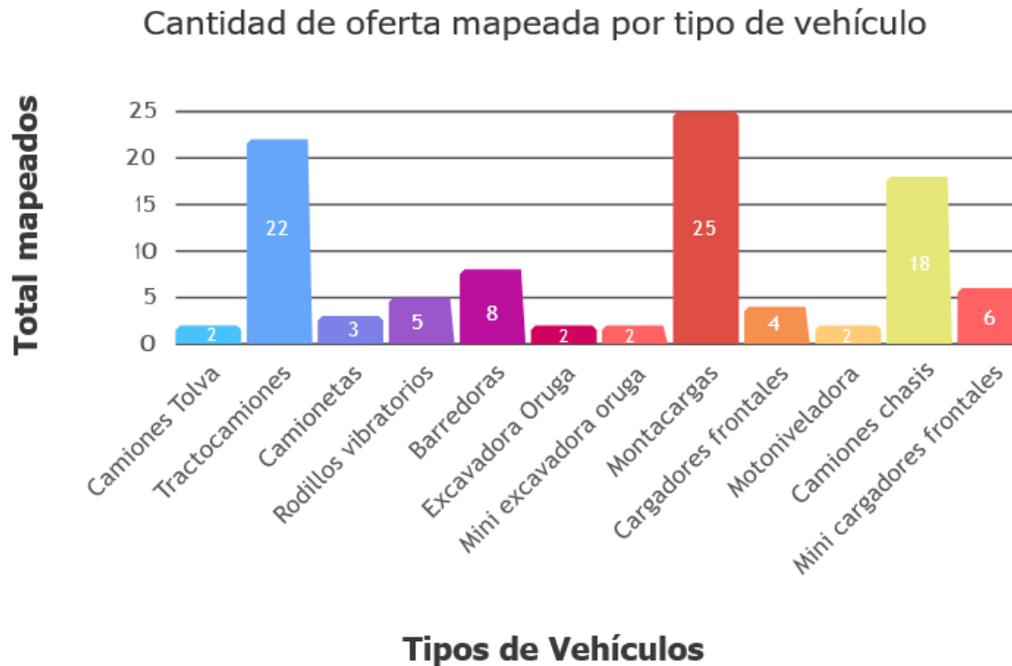


Figura 17: Cantidad de ofertas por tipo de vehículo en Chile.

Dentro del mercado de vehículos y maquinaria eléctrica en Chile, se encuentra una mayor variedad y cantidad de ofertas para los montacargas, los tractocamiones y los camiones chasis-cabina. Para los demás vehículos la oferta de mercado es menor, pero se espera que aumente dentro de los próximos años.

En la Figura 18, se puede observar un gráfico que compara los valores de los vehículos encontrados.

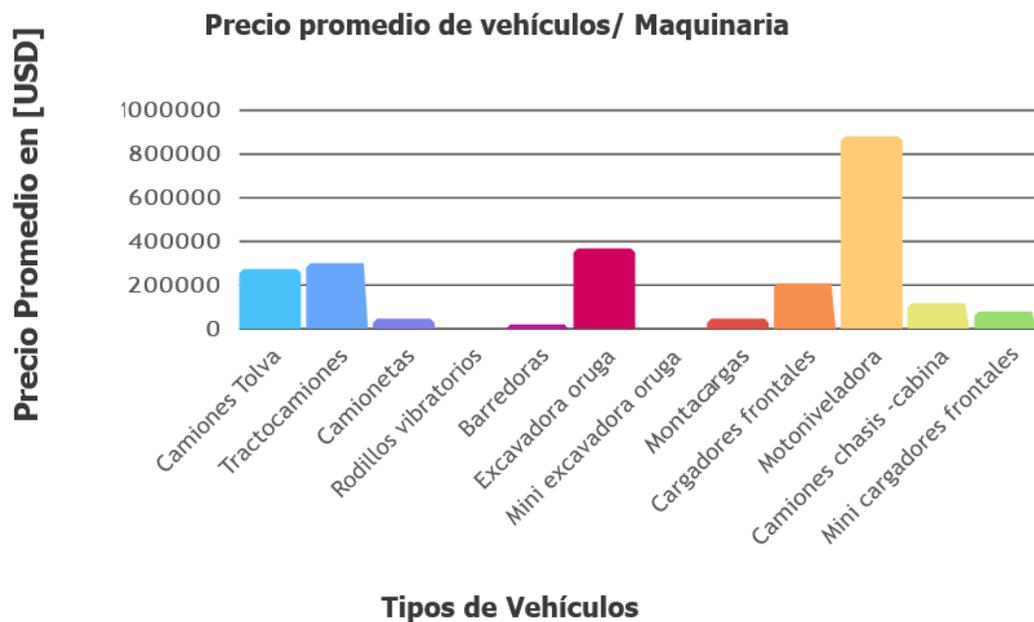
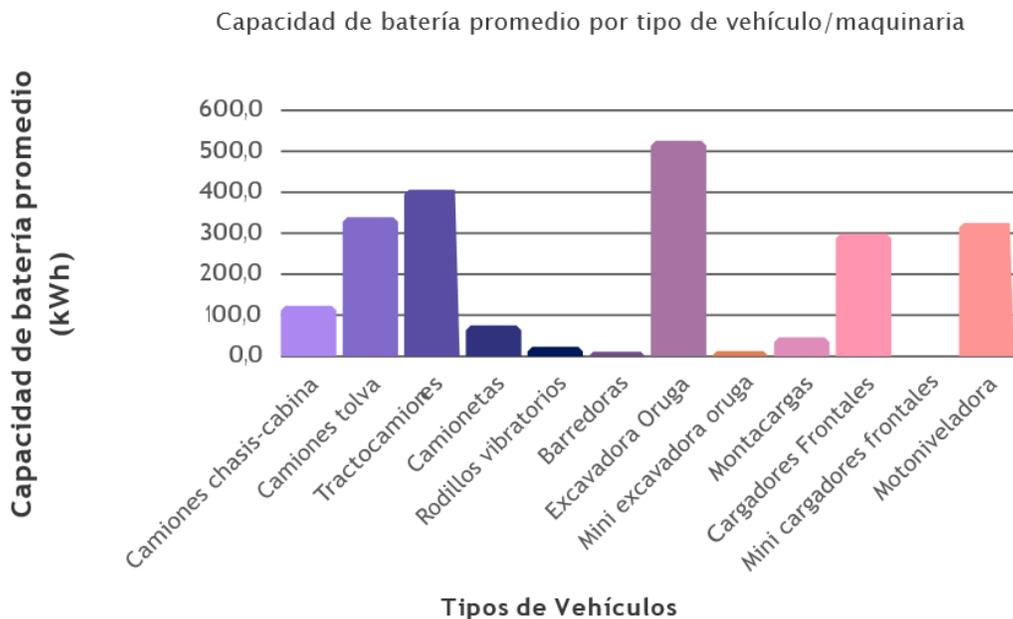


Figura 18: Precios promedio de vehículos mapeados.

A partir de los datos anteriores, se puede concluir que la motoniveladora es el vehículo más caro de todos, llegando a un valor que sobrepasa los \$880.000 USD en promedio. Se espera que este valor disminuya a mediano plazo por el aumento de demanda de los vehículos eléctricos y la competitividad de los diferentes fabricantes de este tipo de maquinaria.

En la Figura 18, se muestra de forma gráfica el promedio de la capacidad de la batería por tipo de vehículo mapeado hasta la fecha.



De acuerdo con la información anterior, se puede observar que los vehículos que tienen una mayor capacidad de batería son los tractocamiones y los camiones tolva. Generalmente, a mayor capacidad de batería, la carga lleva más tiempo. Sin embargo, esto dependerá también del tipo de carga que se realice y de la infraestructura de carga, ya que existen modos de carga más rápidos que otros. Es necesario complementar esta información para realizar conclusiones específicas sobre la duración de la carga a partir de este gráfico, ya que este factor depende de cómo se utilice el equipo.



Es un Programa de:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

**Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE**

Ejecutado por:



calac@swisscontact.org.pe

www.programacalac.com

Facebook: @CALACplus

Twitter: @Calacplus

Calle José Gálvez N° 692, Miraflores

Lima 15073 – Perú

Teléfono: +511 5005075

www.swisscontact.org