



# Requisitos técnicos para bases de licitación y operadores de flotas de buses eléctricos del transporte público de Santiago de Chile: Infraestructura, equipamiento, y gestión de carga



SUPPORTING PARTNER



FUNDING AGENCY



IMPLEMENTING PARTNERS



Asistencia técnica proveída al Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile (MTT) a través del Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM) como parte de la iniciativa ZEBRA (*Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator*). El trabajo también fue apoyado por ONU Ambiente, a través del programa *Global Fuel Economy Initiative* (GFEI).

Este reporte fue elaborado por Marcela Castillo, Sebastián Galarza, Gianni López y Ariel Núñez del Centro Mario Molina Chile, con la colaboración de Andrés Roasenda, Santiago Larraín, Miguel Ormeño y el equipo de la Secretaría Técnica de Estrategia y Planificación del DTPM. El reporte fue revisado por Oscar Delgado, Jennifer Callahan, y Samantha Pettigrew del Consejo Internacional de Transporte Limpio (ICCT).



## CONTENIDO

Introducción .....	ii
1. Requerimientos mínimos para el bus ofertado .....	2
2. Especificación técnica del bus ofertado .....	6
3. Compromisos de desempeño del bus ofertado en las rutas indicadas por DTPM .....	13
4. Disponibilidad de flota .....	15
5. Control de conformidad .....	16
6. Mantenimiento.....	17
7. Descripción del bus y componentes principales .....	19
8. Infraestructura, equipamiento y gestión de la carga de los buses .....	21
9. Descripción de la flota de buses eléctricos considerados en la oferta .....	22
10. Descripción de cargadores considerados en la oferta .....	23
11. Sistema de monitoreo y diagnóstico de las baterías .....	26
Anexo 1: Determinando autonomía de un bus eléctrico .....	27

## INTRODUCCIÓN

Este documento presenta una serie de recomendaciones para el diseño de requerimientos técnicos para buses eléctricos en procesos de renovación de flota de transporte público. Específicamente, el texto se enmarca en el proceso de diseño de las bases de licitación del Servicio Complementario de Suministro de Buses N° LP SB001/2019 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) de Chile, presentadas en noviembre de 2019. Este proceso reformula la licitación que fue declarada desierta en 2018 y busca incorporar un nuevo modelo de operación, basado en la desconcentración de ciertos servicios e infraestructura que integran el sistema. El nuevo modelo establece más empresas de menor tamaño (ej. servicios que tienen un máximo de 350 buses) y por periodos más acotados: de cinco años para los operadores que opten utilizar la tecnología diésel y de siete años para quienes opten por la electromovilidad. De manera importante, las empresas ya no serán propietarias de los activos, como buses y terminales, mientras que los buses deben cumplir con estándares de emisiones Euro VI o ser eléctricos. Es decir, se trata de una licitación de flota con tecnologías de propulsión mixtas.

Sin embargo, existe un énfasis general en promover la electromovilidad en los servicios de transporte público, lo que se refleja en las condiciones favorables de la actual licitación. Paralelamente, desde 2018 se han incorporado más de 700 buses eléctricos a la flota de transporte público de Santiago de Chile. No obstante, estos procesos se han dado aprovechando el término del contrato de tres operadores (Alsacia, VULE, y Metbus) en vez de licitaciones competitivas y dirigidas por la autoridad reguladora. En este contexto, la Dirección de Transporte Público Metropolitano (DTPM) tiene el reto de renovar el 80 % de la flota bajo un nuevo estándar, RED<sup>1</sup>, durante los próximos años, cambiar el modelo de gestión de transporte público y cumplir con una meta de electrificación de la flota total al 2035.

El presente informe forma parte de una serie de publicaciones y recomendaciones de la iniciativa ZEBRA, siendo un aporte a este último desafío de electrificación de flota, y incluyendo recomendaciones de requerimientos técnicos para esta y otras licitaciones de buses eléctricos a futuro. El documento se construyó a través de un estudio de la oferta y operación de buses eléctricos en Santiago de Chile y en las mejores

<sup>1</sup> Entre otros, el estándar RED incluye buses ecológicos (los con estándares de emisión en base de Euro VI) además de los buses eléctricos con aire acondicionado, Wi-Fi y cargadores USB.



prácticas internacionales en el diseño de bases técnicas para buses eléctricos y sus sistemas de carga<sup>2</sup>. Su intención es servir a distintas ciudades y operadores en la región que busquen incorporar buses eléctricos a sus flotas, contribuyendo como insumo para sus licitaciones o como guía al desarrollo de bases técnicas para buses eléctricos adaptadas a las condiciones de sus respectivas operaciones.

---

<sup>2</sup> Este proceso comenzó a través de un trabajo colaborativo entre el MTT, CORFO, Enel, el Centro Tecnológico de Finlandia (VTT), y Centro Mario Molina Chile en el Consorcio Público Privado para el Electromovilidad en el Transporte Público de Santiago de Chile. También recibió apoyos por parte del Banco Interamericano de Desarrollo y el *Global Fuel Economy Initiative* (GFEI).

## 1. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA EL BUS OFERTADO

### 1.1 DIMENSIONES Y PESOS

- Los vehículos ofertados deben pertenecer a la clase B2.<sup>3</sup>
- Los vehículos deben estar homologados para transportar no menos de 80 pasajeros.
- El peso bruto vehicular no puede exceder los 18.000 kg.

### 1.2 PRESTACIONES MÍNIMAS

- **Pendiente máxima por superar:** El vehículo debe ser capaz de superar una pendiente máxima de 15 %.
- **Potencia y torque:** Cada postulante debe adjuntar, en un archivo digital, la información de potencia (kW) y torque (Nm), ambos con una frecuencia de 1 Hz, obtenidas en las pruebas indicadas en los requerimientos de consumos medios de energía
- **Velocidad:** Se debe presentar un archivo digital con la velocidad registrada en las pruebas para determinar el consumo de energía del bus, en frecuencia de 1 Hz.

### 1.3 CONSUMO MEDIO DE ENERGÍA

En su oferta, cada postulante debe incluir un certificado emitido por el Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV) del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) de Chile, o en su defecto por el fabricante o por un tercero, donde se detallen los resultados de consumo energético *kilowatt-hour-per kilometer* (kWh/km) obtenidos por el vehículo ofertado. El certificado debe corresponder a un vehículo equivalente en términos de componentes del sistema eléctrico de potencia y no debe presentar diferencias al ofertado en dimensiones, peso y carrocería. Las condiciones de pruebas están descritas en la Resolución 2243 del 2018 del MTT e incluyen, entre otras, las siguientes:

- Las pruebas deben efectuarse en un laboratorio equipado con un dinamómetro de chasis para vehículos pesados.

<sup>3</sup> Los buses de la clase B2 tienen una longitud igual o superior a 12 metros e inferior a 13 metros. Ver Decreto Supremo No 122/1991 que fija requisitos dimensionales y funcionales a vehículos que presten servicios de locomoción colectiva urbana. Disponible en: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=9612>.

- El vehículo debe ser operado bajo las condiciones de manejo establecidas por el ciclo de conducción TS-STGO.
- Las condiciones de carga de la prueba deben corresponder al peso del vehículo, más el conductor y el peso equivalente del 50 % de la capacidad de carga máxima del bus, considerando un peso promedio de 65 kg por pasajero. Como se ha mencionado previamente, todos los buses ofertados deben estar homologados para operar con una mínima de 80 pasajeros.
- La pendiente del ciclo de manejo empleado debe ser constante de 1,4 %.

A su vez:

- El sistema de aire acondicionado del vehículo debe estar encendido durante la prueba y configurado para operar a 22 grados Celsius.
- Al inicio de la prueba, el estado de carga del paquete de baterías del vehículo debe ser de 90 %,  $\pm 1$  %.

El certificado de las pruebas debe presentar el consumo medio de la prueba en (kWh/km) y el consumo total de energía de las baterías y la regeneración total, ambos en *kilowatt-hour* (kWh). Además del estado de carga inicial y final del paquete de baterías al término de las pruebas, el certificado debe incluir los voltajes medios (V) registrados sobre el paquete antes y después de realizar cada una de las pruebas y la corriente total consumida (Ah) a lo largo de cada uno de los ciclos de manejo completados.

#### 1.4 AUTONOMÍA MÍNIMA

La autonomía mínima  $A_{min}$  kilómetros (km) por carga completa de los vehículos ofertados será establecida en función de los resultados de la prueba de consumo indicada anteriormente, mediante la siguiente ecuación:

$$A_{min} = \frac{C_{nom} \cdot 0.8}{CE_{Stgo}}$$

En esta ecuación,  $C_{nom}$  (kWh) indica la capacidad energética nominal del paquete de baterías estipulada en la ficha técnica del vehículo y  $CE_{Stgo}$  (kWh/km) indica el consumo energético detallado en el certificado con el resultado de las pruebas efectuadas bajo las condiciones indicadas. El factor de 0.8 aplicado sobre la capacidad nominal del sistema de baterías reconoce que, para no afectar la vida útil de las baterías, no se deben descargar más allá del

20 %. Entonces, la capacidad efectiva de carga de estas se considera el 80 % de su capacidad nominal.

**Buses de carga en depósito:** Corresponden a vehículos que son cargados fuera de la ruta de operación, en los depósitos o plateles donde son almacenados. En estos casos, la capacidad de las baterías del bus ofertado debe asegurar que el vehículo tenga una autonomía mayor a 140 km (**Amin ≥ 140km**), con el consumo de energía determinado bajo el protocolo técnico de la Resolución 2243,<sup>4</sup> y con una carga completa de la batería descargada hasta un 20 % de su capacidad total.

**Buses de carga de oportunidad:** Corresponden a los vehículos que son cargados en períodos de tiempo muy cortos (intervalos menores a 5 minutos), con la carga efectuada en los terminales de sus rutas de operación, o en alguna parada intermedia. La capacidad de las baterías del bus ofertado debe asegurar que el vehículo tenga una autonomía mayor a 50 kilómetros (**Amin ≥ 50km**), con el consumo de energía determinado bajo el protocolo técnico de la Resolución 2243 del MTT y con una carga completa de la batería descargada hasta un 20 % de su capacidad total de carga.

## 1.5 DETERIORO MÁXIMO PERMITIDO DE LA AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO

Independiente de los términos y condiciones especificados en las garantías provistas por los diferentes fabricantes, se considera que durante el período de vigencia del contrato de provisión de flota (14 años para buses eléctricos), no se permitirá una pérdida mayor al 20 % en la capacidad energética original del paquete de baterías del vehículo. Igualmente, se puede considerar una reducción equivalente en la autonomía del bus en relación con la autonomía determinada en el ítem previo. Una pérdida mayor al 20 % es una condición suficiente para exigir el cambio de paquete de baterías del vehículo o la sustitución de celdas para cumplir con los requisitos mínimos a lo largo del periodo de concesión. Dado que este período es de 14 años, el proceso de cambio de paquete o reparación de celdas tendrá que ser asumido para casi todos los vehículos licitados.

Este deterioro se verificará mediante el programa de seguimiento de flota en base a pruebas en el 3CV, bajo los procedimientos de la Resolución 2243

<sup>4</sup> Aprueba protocolo técnico para obtener consumo energético en buses de transporte público urbano de la ciudad de Santiago, Resolución 2243 Exenta del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile. (agosto del 2018). Disponible en: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1121384>.



de una muestra de buses, específicamente mediante la determinación de estados iniciales y finales de carga del paquete de baterías y el consumo total determinado en la prueba. Complementariamente se verificará el deterioro mediante el monitoreo y análisis de los parámetros principales de cada uno de los vehículos de la flota contratada.

Se considera el valor del paquete de baterías del vehículo al 50 % del valor de los buses ofertados. Para participar en la licitación en cuestión las empresas deberán respaldar los montos requeridos para el remplazo del paquete de baterías de los vehículos entregados con activos embargables en Chile, equivalente al 50 % del valor de los buses nuevos o con un seguro válido por un monto equivalente.

## 2. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL BUS OFERTADO

### 2.1 NORMATIVA DE CARGA

Con respecto a la infraestructura de carga para buses, se mencionó en el apartado anterior que existen dos tipos de tecnología, carga en depósito y carga de oportunidad, cuya elección depende tanto de la confección de la ruta del bus como de la configuración de la infraestructura energética. No obstante, para todos los casos se debe procurar la interoperabilidad de los sistemas, es decir, que los dispositivos de carga deben ser capaces de conectar a diferentes tipos de vehículos eléctricos.

Según la *European Automobile Manufacturers' Association (ACEA)*,<sup>5</sup> los siguientes sistemas de recarga para buses eléctricos se visualizan generalmente a partir de su tecnología:

Buses de carga en depósito tienen:

- El dispositivo “CCS-2”, también conocido como “CCS combo 2” (o como *Combined Charging System*), de acuerdo con la normativa IEC 62196 Carga conductiva de vehículos eléctricos, Parte 1: Requisitos generales del UNE:EN 62196-1:2015 indican los requisitos para bases, clavijas, conectores de vehículo, y entradas de vehículo.

Buses de carga de oportunidad tienen:

- Rieles de contacto colocados en el techo del vehículo sobre el eje delantero.
- Pantógrafo bajando de un mástil de carga aérea.
- Wi-Fi para la comunicación entre vehículo y mástil de carga.

El sistema de carga combinada (CCS) es un sistema abierto y compatible con todos los requisitos de carga. Los componentes principales son el conector, la gestión del control de sus funciones y la comunicación de carga entre el vehículo y la infraestructura.

El CCS utiliza interfaces de corriente alterna (AC) y de corriente continua (DC) y fue diseñado para usar conectores “Tipo 2” y “Combo 2”, principalmente utilizados en Europa. Puede combinar una carga monofásica con una rápida

<sup>5</sup> European Automobile Manufacturers Association. *Charging of Electric Buses: ACEA Recommendations (2017)*. [https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA\\_charging\\_electric\\_buses.pdf](https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_charging_electric_buses.pdf).

carga trifásica de corriente alterna hasta de un máximo de 43 kW. Igualmente, proporciona una carga de corriente continua ultrarrápida de alta potencia de hasta 200 kW, que en un futuro podría llegar a los 350 kW. Sin embargo, debido al gran tamaño de sus paquetes de baterías y a la necesidad de minimizar los tiempos de carga, las interfaces más recomendables son las de corriente continua (DC).

Cabe señalar que la Unión Europea estableció al CCS como el equipo mínimo con el que deberán cumplir los vehículos eléctricos a partir del 2017. Los fabricantes, en tanto, la han definido como “la interfaz futura”, ya que representa una solución estandarizada para la carga de vehículos eléctricos. Aún cuando la Unión Europea ya ha dado señales sobre su normativa, esta continúa hasta el día de hoy en el diseño de sus normas para la infraestructura de combustibles alternativos, la cual deberá salir en versión final durante el 2019, con el fin de que varios proveedores cumplan con los requerimientos estandarizados.

Para cumplir con los elementos de seguridad y de eficacia técnica durante la carga de buses eléctricos, los proveedores deben satisfacer la siguiente normativa desarrollada principalmente por la *International Electrotechnical Commission (IEC)*,<sup>6</sup> la misma que cubre tanto la carga de corriente continua como la alterna:

- IEC 61851-1:2017 Parte 1: Sobre los requisitos generales del sistema de carga conductiva para los buses eléctricos. Esta norma es aplicable a equipos con alimentación de hasta 1000 V para corriente alterna y de hasta 1500 V para corriente continua e incluye:
  - Las características y condiciones de operación del equipo de suministro de energía.
  - Descripción de los accesorios de corriente continua para los diferentes modos de carga (para mayor detalle, ver las normas IEC 61851-23, IEC 61851-24 y IEC 62196-1, IEC 62196-2 y IEC 62196-3).
  - Las especificaciones de la conexión entre el cargador y el bus y sus adaptadores.
  - Requisitos para los circuitos de proximidad y dimensionales.

<sup>6</sup> Conforme las normas se actualicen, los proveedores deben cumplir también con las nuevas disposiciones, siempre y cuando apliquen al caso chileno.

- La inclusión de dispositivos de protección (incluye apagado automático de equipos y protección de cables).
- Pruebas para evaluar el cumplimiento de los ciclos de carga.
- Contenido de la instalación y del manual del usuario (estándar de coherencia en la instalación fija).
- IEC 61851-21-1: 2017: Sistema de carga conductiva del vehículo eléctrico. Parte 21-1: establece los requisitos de compatibilidad electromagnética (EMC) para vehículos propulsados eléctricamente en cualquier modo de carga (corriente alterna y continua) mientras está conectado a la red eléctrica.
- IEC 61851-21-2: 2018: Sistema de carga conductiva del vehículo eléctrico. Parte 21-2: establece las exigencias de compatibilidad electromagnética para cualquier componente o equipo externo de los sistemas utilizados para suministrar o cargar vehículos eléctricos con energía eléctrica mediante transferencia de potencia conductiva.
- IEC 61851-23: 2014: Sobre las exigencias de sistema de carga conductiva del vehículo eléctrico. Su objetivo es proporcionar los requisitos de comunicación de control entre el vehículo y la estación de carga, con un voltaje de entrada de corriente alterna de hasta 1000 V y, para corriente continua, de hasta 1500 V.<sup>7</sup> El objetivo de esta norma es limitar la capacitancia para proteger el entorno de descargas eléctricas.
- IEC 61851-24: 2014: Sobre las exigencias del sistema de carga conductiva del vehículo eléctrico, para la comunicación digital entre el cargador de corriente continua y el vehículo. En referencia a la misma, también se puede consultar la norma DIN SPEC 70121 de Electromovilidad, sobre comunicación digital entre una estación de carga de vehículos eléctricos de corriente continua y un vehículo eléctrico para el control corriente en el sistema de carga combinada. Por último, se debe consultar y cumplir con la ISO 15118-1 sobre la interfaz de comunicación, ya que esta incluye la batería eléctrica y los controladores de comunicación de ambos lados del sistema: tanto del vehículo como del equipo de suministro.

---

<sup>7</sup> Deben cumplir con la norma IEC 60038 sobre estándares de tensiones normales.

## 2.2 NORMATIVA RELATIVAS AL SISTEMA DE PROPULSIÓN DEL BUS

El vehículo debe estar certificado bajo la normativa JT/T 1026.<sup>8</sup>

Alternativamente, el bus y los componentes de su sistema de propulsión pueden cumplir con alguna de las siguientes normativas:

- Reglamento N°100 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE/ONU); Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos en relación con los requisitos específicos del grupo moto propulsor eléctrico (2015/505).<sup>9</sup>
- Reglamento Técnico Mundial sobre la Seguridad Vehicular Eléctrica (RTM) CEPE/ONU N°20,<sup>10</sup> con respecto a:
  - Ensayo de protección contra los efectos del agua.
  - Advertencia en caso de falla operativa de los controles del vehículo que administra la operación segura del Sistema de Acumulación de Energía Recargable.
  - Aviso en caso de un evento térmico dentro del Sistema de Acumulación de Energía Recargable.
  - Aviso en caso de bajo contenido energético del Sistema de Acumulación de Energía Recargable.
  - Ensayo de protección a baja temperatura.
  - Ensayo de propagación térmica.

En cuanto al desempeño de baterías, la Unión Europea tiene estipulaciones a través de UNECE -R101.<sup>11</sup> Sin embargo, los procedimientos de prueba no se especifican.

ISO también cuenta con normas para el desempeño de baterías. En relación de aplicaciones de alta potencia y energía existen las normas ISO 12405-4: 2018 e ISO 12405-2: 2012, que están disponibles como procedimientos de

<sup>8</sup> Norma de requisitos generales para buses eléctricos urbanos de la República Popular China.

<sup>9</sup> Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU). *Enmiendas del Reglamento N.º 100 de la CEPE/ONU - Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos en relación con los requisitos específicos del grupo motopropulsor eléctrico* (2018). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A42018X1858>.

<sup>10</sup> United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). *Global Technical Regulation on the Electric Vehicle Safety (EVS)* (2018). [https://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29glob\\_registry.html](https://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29glob_registry.html).

<sup>11</sup> UNECE. *Agreement Concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be fitted and/or be used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these Prescriptions. Revision 3. Addendum 100: Regulation No. 101.* (2013). <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2015/R101r3e.pdf>.

prueba opcionales para baterías de tracción de iones de litio. Igualmente, la IEC 62660-1: 2010 también representa un estándar opcional para las pruebas de rendimiento de la batería (nivel de celda). La IEC 61982: 2012 es otro procedimiento de prueba opcional que especifica pruebas de rendimiento y resistencia para baterías secundarias (excepto iones de litio) para la propulsión de vehículos de carretera electrificados.

La Unión Europea no tiene actualmente requisitos regulatorios de durabilidad de las baterías, sin embargo, las normas voluntarias ISO 12405-4: 2018 e IEC 62660-1: 2010 abordan las pruebas de durabilidad de las baterías de iones de litio.

## 2.3 MONITOREO DE LA OPERACIÓN Y ESTADO DE LAS UNIDADES

El proveedor de flota debe contar con un sistema de información que capture, procese, y transmita la información del vehículo a una plataforma informática del proveedor de flota. Dicha información debería estar accesible a la autoridad reguladora y las personas que esta estime conveniente. Más adelante se indican las frecuencias de muestreo de los parámetros a informar, los cuales deben estar disponibles en un plazo no mayor a una semana desde el momento de la captura en el vehículo. Esta información debe estar disponible por todo el período de concesión.

El sistema debe estar certificado bajo la norma ISO 15118-1 sobre la interfaz de comunicación, ya que esta incluye la batería eléctrica y los controladores de comunicación de ambos lados del sistema: tanto del vehículo como del equipo de suministro u otra compatible.

Los siguientes parámetros de información del vehículo se emplearán para el monitoreo del cumplimiento de los requerimientos mínimos de autonomía y deterioro máximo de ella:

### POWERTRAIN ELÉCTRICO

#### Mediciones primarias:

- Voltaje (V) y corriente (A) de cada paquete de baterías (frecuencia de muestreo 2Hz).
- Voltaje (V) y corriente (A) de los moto-generadores (frecuencia de muestreo 2Hz).
- Voltaje (V) y corriente (A) de los accesorios eléctricos: compresor AA, servodirección, compresor de aire (frecuencia de muestreo 2Hz).

- Temperatura (°C) de cada paquete de baterías (frecuencia de muestreo 0.5Hz).
- Estado de carga del paquete de baterías (% SOC) (frecuencia de muestreo 0.5HZ).

**Mediciones secundarias:**

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

**General:**

- Velocidad instantánea (km/h) del CAN-bus (frecuencia de muestreo 2Hz)<sup>12</sup>
- Estado de carga de las baterías (% SOC) (frecuencia de muestreo 1Hz).
- Autonomía restante instantánea (km)
- Geoposición: latitud, longitud, altitud (frecuencia de muestreo 0.5Hz).

La plataforma informática del proveedor de la flota debe disponer de un sistema de captura continua de estos datos en las frecuencias señaladas y un sistema de almacenamiento para un periodo no menor a 7 años.

El proveedor de flota debe contar con un procedimiento de estimación del Estado de Salud de las baterías (SOH, por sus siglas en inglés) a partir de los parámetros antes indicados, para presentar la metodología para el cálculo de este indicador.

Esta información recopilada permitirá al operador desarrollar mejores programas de mantenimiento, previendo potenciales fallas prematuras de las baterías y sistemas, además de verificar el resultado de las reparaciones. Por ejemplo, la temperatura y el voltaje de cada celda pueden utilizarse para identificar una celda que esté dañada y programar su remplazo para preservar el resto del sistema. A su vez, al generar un registro continuo de los parámetros, tanto el proveedor como el operador podrán evaluar el deterioro de la batería a partir de la metodología de estimación del indicador de Estado de Salud SOH. En caso de que la autonomía por carga de los vehículos haya disminuido en más de un 20 % de los valores registrados por la unidad, el operador podrá pedir la evaluación del vehículo al 3CV a fin de determinar

---

<sup>12</sup> La información debe provenir del CAN-bus, no del GPS del bus.



si efectivamente la autonomía y/o capacidad de carga se ha deteriorado por arriba del umbral del 20 % máximo establecido. De ser así, el operador podrá pedir al proveedor de flota la reposición de la batería del vehículo.

Esta información también será clave para anticipar conflictos entre el proveedor de flota y el operador con relación al deterioro prematuro de componentes como las baterías. De esta forma, será posible verificar si las prácticas de mantención y las reparaciones se ajustan a los programas acordados, y si las estrategias y procedimientos de carga se ajustan a los especificados por el fabricante.

### 3. COMPROMISOS DE DESEMPEÑO DEL BUS OFERTADO EN LAS RUTAS INDICADAS POR DTPM

Para facilitar la definición de las estrategias de carga de los buses por parte de los operadores, de forma tal que maximicen la disponibilidad de sus vehículos, se ha determinado, por medio de simulaciones y análisis de operación en base a GPS, la autonomía diaria de un bus eléctrico de baterías para un conjunto de recorridos. Estas modelaciones se han hecho considerando a un bus cargado una vez con carga lenta en depósito, hasta el 90 % de la capacidad de su paquete de baterías, y descargado hasta un máximo de un 20 %.

Con el fin de hacer la estimación de autonomía más conservadora se ha tomado el valor del 90 % del estado de carga de la batería (SOC, por sus siglas en inglés).<sup>13</sup> La velocidad de carga no es lineal, siendo más lenta en el tramo final, por lo que en condiciones real de operación es probable que los buses de carga nocturna puedan encontrarse frecuentemente en cargas menores al 100 % del SOC.

Se considera la simplificación de que el depósito está en un extremo del recorrido. El bus tiene las siguientes características:

Ítem	Bus B
Tipo de batería	LFP
Tipo de carga	Carga en depósito
Potencia nominal (kW)	215
Potencia máxima (kW)	350
Paquete de baterías (kWh)	324
Tipo de cargador	DC
Potencia de cargador (kW)	150
Mínimo tiempo de carga (0 a 100 % SOC)	90
Longitud (m)	12
Peso bruto vehicular (kg)	18.950
Peso en vacío (kg)	13.350
Asientos	27
Capacidad de pasajeros	87

(\*) En el anexo A se indican las autonomías estimadas para cada uno de los recorridos.<sup>14</sup>

13 Esta estimación no guarda relación con la exigencia de autonomía mínima incluida bajo los requerimientos mínimos para todos los buses de la Sección 1 de este documento, que son exigencias para todos los buses eléctricos considerando un ciclo de conducción que representa la operación promedio de un bus en la ciudad, no en rutas específicas.

14 Centro Mario Molina. *Selección de rutas para escalar la operación de buses eléctricos en Santiago de Chile— Recomendaciones para el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones* (2020).



Se considera que el bus opera todo el día al 50 % de su capacidad de carga de pasajeros, con aire acondicionado funcionando y en condiciones ambiente de 20°C de temperatura y 50 % de humedad.

El proponente debe indicar si el vehículo que está ofertando puede desarrollar una autonomía diaria similar a la estimada para cada ruta describiendo la estrategia de carga considerada. Debe acompañar un informe describiendo las características del cargador, la potencia a emplear, el número de cargas diarias necesarias y el tiempo de cada carga. El informe debe indicar cuantos ciclos de carga estima bajo esta estrategia de carga para un período de 7 años, y cual es la degradación esperada de las baterías en ese período, cumpliendo con el 20 % de degradación máxima exigida en la sección 1.5 de este documento.

#### **4. DISPONIBILIDAD DE FLOTA**

La flota ofertada no puede tener una tasa de disponibilidad menor al 95 % de fallas vinculadas al sistema de propulsión del bus. El proponente debe indicar la disponibilidad esperada para el vehículo ofertado a partir de un informe con historial de fallas en componentes eléctricos de buses similares que hayan sido comercializados con anterioridad por el fabricante. Este informe debe incluir, además, las fallas observadas en cargadores equivalentes a los descritos en la estrategia de recarga mencionada en el apartado de compromisos del desempeño del bus; así como referencias y personas de contacto de los operadores que hayan empleado anteriormente vehículos equivalentes.

## 5. CONTROL DE CONFORMIDAD

El proponente que resulte adjudicado debe entregar en un plazo no mayor a 30 días un informe técnico con la descripción de piezas, partes, y componentes del vehículo ofertado. Cada una de las unidades correspondientes al vehículo ofertado que sean puestas en servicio debe estar equipada con exactamente las mismas piezas, partes, y componentes descritas este informe técnico. Esta equivalencia debe ser acreditada en tres etapas:

1. En paralelo a la homologación de requerimientos funcionales y dimensionales de buses de Santiago.
2. En la línea de producción del fabricante, a través de un certificado emitido por un tercero calificado para este servicio.
3. Mediante inspección y pruebas en el 3CV de una muestra de los vehículos seleccionados aleatoriamente por la autoridad.

Además de la verificación de equivalencia de piezas, partes y componentes, la primera y la tercera etapa deben considerar las pruebas de medición de consumos de energía bajo las condiciones indicadas por la Resolución 2243.

Para la acreditación de la equivalencia en la línea de producción, el proveedor deberá presentar, en un plazo de 60 días tras la adjudicación, un programa de control de la conformidad de producción y tres alternativas de empresas con experiencia en control de conformidad de producción vehicular a nivel internacional. La autoridad determinará cuál empresa prestará el servicio de control de conformidad de producción, que deberá ser cubierto en su totalidad por el proveedor.

De verificarse una inconsistencia estadísticamente válida entre el informe técnico y las unidades examinadas y/o un incumplimiento de los requerimientos técnicos indicados en estas bases, se procederá al cobro de las garantías entregadas por el proveedor.

## 6. MANTENIMIENTO

El proponente debe detallar en un reporte el costo anual del servicio de mantenimiento y reparación de las unidades entregadas por un periodo de 5 años desde la puesta en servicio de las unidades. En el reporte deben detallarse, al menos, los siguientes aspectos:

- La mano de obra
- Las herramientas y equipamientos necesarios para efectuar las tareas del “servicio de mantenimiento y reparación”
- Los repuestos necesarios para el mantenimiento preventivo y las reparaciones correctivas derivadas del desgaste natural o fallo de las piezas (materiales de fricción de freno, componentes de la suspensión, motores eléctricos, elementos de la transmisión, elementos sujetos al desgaste de la carrocería, componentes de la instalación eléctrica de baja y alta tensión, correas, componentes del equipo de aire acondicionado, entre otras)
- La provisión de neumáticos producto del desgaste normal por el uso, con su recambio cuando la profundidad del dibujo de la banda de rodamiento sea inferior a 1,5 mm
- Los lubricantes y fluidos requeridos en las mantenciones periódicas del vehículo

Se incluirá un detalle del cronograma de los servicios de mantenimiento preventivo. La agenda para su cumplimiento será acordada oportunamente entre quien resulte adjudicatario y el operador de las unidades.

El kilometraje acumulado para la realización de los servicios podrá diferir en aproximadamente mil kilómetros (+/- 1 000 km) respecto al programado, sin que ello resulte motivo de excusa por parte del adjudicatario respecto al servicio ofertado.

Los servicios de reparaciones correctivas deberán ser satisfechos a la mayor brevedad posible, sin superar las 24 horas hábiles entre el pedido y el inicio de la ejecución del trabajo.

El operador pondrá a disposición del adjudicatario el ámbito físico necesario para el desarrollo de las tareas del “servicio mantenimiento y reparación”, incluyendo la fosa de trabajo.

Los “servicios de mantenimiento y reparación” serán realizados en la sede del operador de transporte. Los eventuales remolques por averías a la vera del camino estarán a cargo del operador de transporte.

Solo podrán ser excluidos de este servicio de mantenimiento, la mano de obra y repuestos que resulten necesarios para reparaciones por desperfectos y/o roturas ocasionados por siniestros, accidentes, golpes o impactos ajenos al normal servicio.

## **6.1 TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO**

El proponente debe considerar en su oferta el entrenamiento del personal técnico del operador de los buses que acompañe el servicio de mantenimiento y reparación ofertado, transfiriendo el conocimiento requerido para la realización de las labores regulares de mantención.

## **6.2 INVENTARIO DE REPUESTOS**

El oferente debe incluir el detalle de un inventario de repuestos equivalente al 10 % del valor total de la compra, donde se indiquen aquellos repuestos que, según su experiencia, son requeridos durante el uso normal de los buses y cargadores. Sin embargo, no se debe incluir repuestos comercializados de forma habitual en el mercado chileno (neumáticos, fluidos y lubricantes, lámparas, tornillería, etc.).

La oferta debe incluir los precios de los componentes incluidos en la lista de inventario de repuestos, así como el precio unitario de los principales componentes del bus y los sistemas de carga instalados en Santiago (motor eléctrico, batería, reductor, sistema de control de potencia, etc.). Los precios deben estar en dólares americanos y su valor debe ser mantenido a lo largo de los primeros cinco años de operación de los buses.

## 7. DESCRIPCIÓN DEL BUS Y COMPONENTES PRINCIPALES

### 7.1 VEHÍCULO Y COMPONENTES

El proponente debe entregar la siguiente información referida al sistema de almacenamiento de energía:

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

Respecto del motor debe presentar al menos la siguiente información:

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

Respecto del vehículo debe entregar al menos la siguiente información:

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

## **7.2 EXPERIENCIA DEL FABRICANTE**

El vehículo incluido en la oferta del proponente debe ser fabricado por una empresa capaz de acreditar que durante los últimos tres años (incluyendo 2019) ha tenido una producción mínima de cien buses eléctricos por cada año, para transporte público colectivo, y con una capacidad mínima de diecinueve pasajeros. El proveedor de las baterías incluidas del bus ofertado debe tener una experiencia mínima de cinco años en la producción de baterías para vehículos eléctricos, la cual debe acreditarse con certificación y/o constancia expedida por la empresa contratante que incluya: 1) Los datos de la empresa a la que suministró el bien (razón social y domicilio), y 2) el objeto y alcance del contrato (incluyendo el número de buses, teléfono, correo electrónico de la persona a contactar por la empresa contratante).

## **8. INFRAESTRUCTURA, EQUIPAMIENTO Y GESTIÓN DE LA CARGA DE LOS BUSES**

Los servicios licitados para buses eléctricos que han sido incluidos en este documento pueden ser operados con vehículos de baterías que, de acuerdo con el consumo de energía medido bajo el ciclo de buses Santiago (Resolución 2243 del año 2018 del MTT), tienen autonomías iguales o mayores a 140 kilómetros.

El proponente debe describir la flota ofertada, los sistemas de carga, la gestión de la carga y sus sistemas de soporte, demostrando que la integración de estos elementos permite la operación de su flota de buses eléctricos de acuerdo con los parámetros operacionales exigidos, durante todo el período de concesión. A saber, los índices de frecuencia, regularidad y disponibilidad de flota no deben verse afectados por la gestión normal de carga de las baterías. Al mismo tiempo, debe explicitarse la forma en que se enfrentarán imprevistos en la carga de los buses de tal forma de mitigar sus impactos en estos parámetros operacionales. El proponente debe demostrar, además, que la gestión de la carga incluida en su oferta no comprometa la durabilidad de las baterías, especialmente en lo referido a su compatibilidad con las potencias y tiempos de carga.

Es necesario que el proponente considere en su oferta, un programa de monitoreo que permita la administración eficiente de carga y del estado de los cargadores. Este programa debe generar un registro de las variables principales involucradas en cada proceso de carga de los buses.

Adicionalmente, el proponente debe disponer de un programa de monitoreo y diagnóstico de las baterías de cada bus eléctrico en su flota, que permita dar seguimiento al estado de carga de las baterías (SOC), al deterioro a través del estado de salud de las baterías (SOH) y que además permita pronosticar las mantenciones.

## 9. DESCRIPCIÓN DE LA FLOTA DE BUSES ELÉCTRICOS CONSIDERADOS EN LA OFERTA

- Tipo de bus
- Número de buses ofertados
- Descripción de las baterías :
  - Fabricante y modelo
  - Capacidad (kWh)
  - Peso total (kg)
  - Tipo de celdas de la batería
  - Voltaje nominal por celda (V)
  - Capacidad máxima por celda (Ah)
  - Voltaje nominal del paquete (V)
  - Capacidad máxima del paquete (Ah)
  - Corriente de descarga máxima (A)
  - Tiempo de carga (minutos)

## 10. DESCRIPCIÓN DE CARGADORES CONSIDERADOS EN LA OFERTA

- Fabricante y modelo
- Tipo (DC carga lenta, rápida, o de oportunidad)
- Debe acreditar cumplimiento de Norma IEC 61851
- Voltaje de entrada (V)
- Corriente de entrada (A)
- Frecuencia (50 Hz)
- Eficiencia del cargador (%)
- Tasa de falla del cargador (%)
- Voltaje de salida (V)
- Corriente de salida (A)
- Nivel de ruido (dB)
- Debe acreditar que los enchufes cumplen Norma CCS2
- Protocolo de comunicación
- Conectividad
- Potencia de carga (kW)
- Potencia nominal (kW)
- Nivel de protección
- Certificado de aptitud para operar en exteriores

### 10.1 NÚMERO DE CARGADORES

- Depósitos asociados a cada servicio ofertado
- Número de cargadores por depósito
- Trazado de cargadores por depósito

## 10.2 PROGRAMA DE RECARGA POR DEPÓSITO

- Periodo del día
- Duración
- Registro de la información
- Responsables
- Contingencias: describir cómo se resolverán problemas o fallos en cargadores para evitar el impacto de la disponibilidad de flota de buses

## 10.3 EMPALME A RED ELÉCTRICA

- Demanda de energía eléctrica estimada para el depósito
- Perfil horario de la demanda a partir del programa de recarga
- Factibilidad eléctrica de cada depósito considerado en la oferta
- Descripción de la solución de factibilidad eléctrica para cada depósito incluido en la oferta

## 10.4 CRONOGRAMA DE HABILITACIÓN ELÉCTRICA DE LOS DEPÓSITOS Y CARGADORES

Indicar actividades principales y sus fechas de ejecución en un cronograma con resolución mensual para cada depósito.

## 10.5 SOPORTE DE CARGADORES

Describir programa de mantenimiento y reparación, indicando el responsable y tipo de acuerdo con él.

## 10.6 SISTEMA DE RESPALDO ELÉCTRICO

Describir la solución de respaldo y el protocolo para su activación.

## 10.7 PREVENCIÓN DE RIESGOS

Describir las componentes del programa de prevención de riesgos en el proceso de posicionamiento, conexión, carga y desconexión de los vehículos; así como en los demás riesgos eléctricos inherentes a la operación, carga y almacenamiento de los vehículos dentro del depósito.

## 10.8 SISTEMA DE MONITOREO Y GESTIÓN DE CARGADORES

Incluir un sistema de control de monitoreo y gestión de los cargadores que considere los siguientes componentes:

- Toma de datos en el cargador
- Transmisión de datos
- Plataforma de procesamiento de datos, almacenamiento y respaldo
- Despliegue de la información

La toma de datos del cargador debe permitir caracterizar cada operación de carga, el bus involucrado y la energía transferida al vehículo. Además, el sistema debe monitorear el estado de cada cargador alertando cuando ocurra una falla y debe corresponder al protocolo abierto de comunicación *Open Charge Point Protocol (OCPP) 1.6* o mejor.

Se debe indicar el responsable de la administración del sistema y cómo se integra con el servicio de mantenimiento y soporte de los cargadores.

El sistema también debe reportar información agregada del conjunto de cargadores en un depósito, incluyendo la demanda total de energía, al menos en resolución horaria, y un reporte mensual del nivel de falla promedio de los cargadores.

## 11. SISTEMA DE MONITOREO Y DIAGNÓSTICO DE LAS BATERÍAS

Finalmente, el proponente debe incluir en su propuesta un sistema de monitoreo y diagnóstico de las baterías de cada uno de los buses eléctricos incluidos en sus flotas. Este sistema debe considerar al menos los siguientes componentes:

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

El monitoreo de estos componentes debe ser consistente con lo indicado en la sección 2.3 de este documento. La autoridad y el operador deben tener acceso a toda la información del monitoreo, y estos datos deben estar en formato abierto con una explicación de los códigos y parámetros incluidos en las bases de datos.

Es necesario indicar si el sistema utiliza un dispositivo de captura de datos<sup>15</sup> o si obtiene la información del CAN-bus. En el caso de obtener la información del CAN-bus, se debe señalar si es compatible con los protocolos del bus incluido en la oferta. También se debe mencionar de qué forma se transmitirá la data, en los dos casos.

El sistema debe calcular el estado de salud (SOH) de las baterías de cada vehículo, indicando la frecuencia y la metodología empleada para su cálculo, tal como se exige en la sección 2.3 de este documento. Además, debe ser capaz de entregar información para realizar mantenimiento predictivo a nivel de celdas y del paquete completo de las baterías.

El Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones debe tener acceso a los datos en cualquier momento que lo requiera, por lo que el sistema debe contar con almacenamiento y respaldo de todos los datos obtenidos.

---

<sup>15</sup> En la eventualidad de usar sensores provistos por un tercero, debe explicarse como se captura toda la data exigida en la sección 2.3.

## ANEXO 1: DETERMINANDO AUTONOMÍA DE UN BUS ELÉCTRICO

### AUTONOMÍA DIARIA DE UN BUS ELÉCTRICO DE BATERÍAS POR SERVICIO

Se han estimado las siguientes autonomías diarias máximas de un bus eléctrico de baterías, en base a una referencia cargada una vez hasta el 90 % de la capacidad de su paquete de baterías y descargada hasta un máximo de un 20 %, considerando carga lenta en depósito.

Características del bus de referencia:

Potencia del motor	215 kW
Peso en vacío	13.350 kg
Capacidad de las baterías	324 kWh

#### Autonomía: 50 % carga (AC ON, km)

Servicio	Autonomía	Servicio	Autonomía	Servicio	Autonomía	Servicio	Autonomía
1	153	26	235	51	167	76	179
2	173	27	183	52	129	77	152
3	150	28	183	53	214	78	127
4	153	29	181	54	156	79	154
5	193	30	162	55	178	80	215
6	201	31	168	56	144	81	143
7	176	32	153	57	137	82	222
8	156	33	162	58	147	83	172
9	193	34	123	59	136	84	149
10	167	35	138	60	136	85	136
11	161	36	171	61	167	86	157
12	152	37	128	62	158	87	141
13	135	38	203	63	175	88	177
14	150	39	136	64	182	89	145
15	149	40	246	65	132	90	138
16	150	41	150	66	132		
17	174	42	180	67	142		
18	153	43	157	68	150		
19	153	44	139	69	128		
20	167	45	150	70	127		
21	142	46	161	71	139		
22	132	47	153	72	193		
23	154	48	198	73	170		
24	200	49	178	74	160		
25	196	50	146	75	180		

## CONTACTO

zebra@theicct.org  
zebra@c40.org



SUPPORTING PARTNER



FUNDING AGENCY



IMPLEMENTING PARTNERS