Recomendaciones para el diseño e implementación de electroterminales en Guadalajara

C40 Cities Finance Facility

Octubre 2020

C40 CITIES FINANCE FACILITY

Funding partners:

Federal Ministry for Economic Cooperation and Development

CHILDREN'S INVESTMENT FUND FOUNDATION

UK Government

USAID FROM THE AMERICAN PEOPLE

Implementing agencies:

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

C40 CITIES

SOBRE CFF

El programa C40 Cities Finance Facility (CFF) es una colaboración entre el Grupo de Liderazgo Climático – C40 Ciudades por el Clima y la Agencia de Cooperación Alemanais (GIZ) GmbH. El CFF apoya a las ciudades en economías en Desarrollo y emergentes en el desarrollo de proyectos que estén listos para acceder a financiamiento con el fin de reducir emisiones y detener el aumento de la temperatura mundial en 1.5 °C, fortaleciendo la resistencia contra los impactos del cambio climático. El CFF está financiado por el Ministerio Federal Alemán para la Cooperación y el Desarrollo Económico (BMZ), la Fundación del Fondo de Inversión para la Infancia (CIFF), el Gobierno del Reino Unido y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).

AGRADECIMIENTOS

Este reporte fue elaborado por Marcela Castillo, Daniela Day y Sebastián Galarza, del Centro Mario Molina Chile, con la colaboración de Andrés Barentin de Dhemax.

Preparado por:
C40 Cities Finance Facility

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Oficinas:
Bonn and Eschborn, Germany

Potsdamer Platz 10
10785 Berlin, Germany

E contact@c40cff.org
W c40cff.org

Marcela Castillo
Centro Mario Molina Chile
Santiago Chile 2020

ÍNDICE

Sobre cff 2

Agradecimientos 2

Introducción 5

Proyecto Guadajara 6

Descripción de proyecto 6

Terreno Seleccionado para el Electroterminal 6

Posición 6

Relieve 7

Recomendaciones Asociadas al Relieve del Terreno 8

Vías de acceso 8

Energía 9

Recomendaciones Asociadas a la Disponibilidad de Energía 9

Necesidades eléctricas 9

Análisis de energía necesaria 9

Ruta Guadalajara 1 10

Ruta Guadalajara 2 11

Análisis Horario de Carga y Tarifa Eléctrica 12

Escenarios de Potencia Necesaria 12

Ruta Guadalajara 1 12

Ruta Guadalajara 2 13

Infraestructura mínima requerida 13

Sugerencia de cargadores y potencia 13

Infraestructura Eléctrica 13

Instalaciones adicionales requeridas 13

Dimensiones mínimas del Electroterminal 14

Dimensiones mínimas de la zona de carga 14

Dimensiones mínimas del Electroterminal 15

Diseño o distribución óptima para su operación 17

Sistemas de seguridad 17

Recomendaciones generales 19

Dimensionamiento batería de las unidades 19

Otras recomendaciones 19

Lista de abreviaciones 19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Terreno electroterminal en Guadalajara 6
Figura 2: rutas que operarán en el electroterminal 7
Figura 3: Relieve del terreno cercano al electroterminal 1 7
Figura 4: Relieve del terreno cercano al electroterminal 2 8
Figura 5: Vías de acceso al terminal 8
Figura 6: Tendido electrico en las proximidades del terminal..... 9
Figura 7: Distribución de ruta Guadalajara 1..... 11
Figura 8: Distribución de ruta Guadalajara 2..... 11
Figura 9: Arquitectura de zona de carga (1)..... 14
Figura 10: Arquitectura de zona de carga (2)..... 15
Figura 11: Topes de buses en un electroterminal..... 18
Figura 12: Techo en un electroterminal..... 18

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tarifa GDMTH. 12
Tabla 2: Areas para el terminal de Monterrey 16
Tabla 3: Tabla 4: Areas para el terminal de Guadalajara 16
Tabla 5: Areas mínima recomendada para el terminal de Guadalajara..... 17

INTRODUCCIÓN

La incorporación de buses eléctricos a las flotas de transporte público plantea retos importantes desde la planificación y operación de los vehículos teniendo en cuenta variables como la autonomía de los buses, el tiempo de carga, la identificación de rutas con mejor rendimiento de carga para los buses eléctricos, entre otros.
El presente reporte es parte del proyecto ““Desarrollo de paquete de recomendaciones y capacitaciones para el diseño, implementación y operación de patios para autobuses eléctricos”del programa C40 Cities Finance Facility (CFF); y que para la presente actividad contó con el apoyo del Centro Mario Molina Chile (CMM).
Este documento contiene un análisis y recomendaciones para el emplazamiento de electroterminales que se construirán en las ciudades de Monterrey y Guadalajara. Entragando información sobre las dimensiones mínimas, un diseño o distribución óptima para la operación, la infraestructura mínima requerida, las necesidades eléctricas, las instalaciones adicionales requeridas y los sistemas de emergencia y seguridad necesarias para la óptima operación de estos electroterminales.

PROYECTO GUADAJARA

Descripción de proyecto

Terreno Seleccionado para el Electroterminal

El terreno propuesto para este Electroterminal contempla un área de aproximadamente 1.52 Ha, en primera instancia se aprecia que los accesos son a través de vías secundarias, lo que podría generar un impacto negativo sobre la flota si estas no son correctamete mantenidas. A nivel de disponibilidad de energía, se aprecia presencia de un tendido de media tensión, sin embargo, es necesario confirmar si este tiene la capacidad necesaria. A continuación, se realizará un análisis en detalle del terreno.

Figura 1: Terreno electroterminal en Guadalajara[1]

Posición

Con relación a las rutas que operará, el terreno está posicionado en un punto con buena accesibilidad para las 2 rutas, por lo tanto los buses no tendrán que realizar largos recorridos adicionales para recargar o llegar al depósito al finalizar los recorridos.

[1] Fuente: Información entregada por GIZ, como parte del proyecto

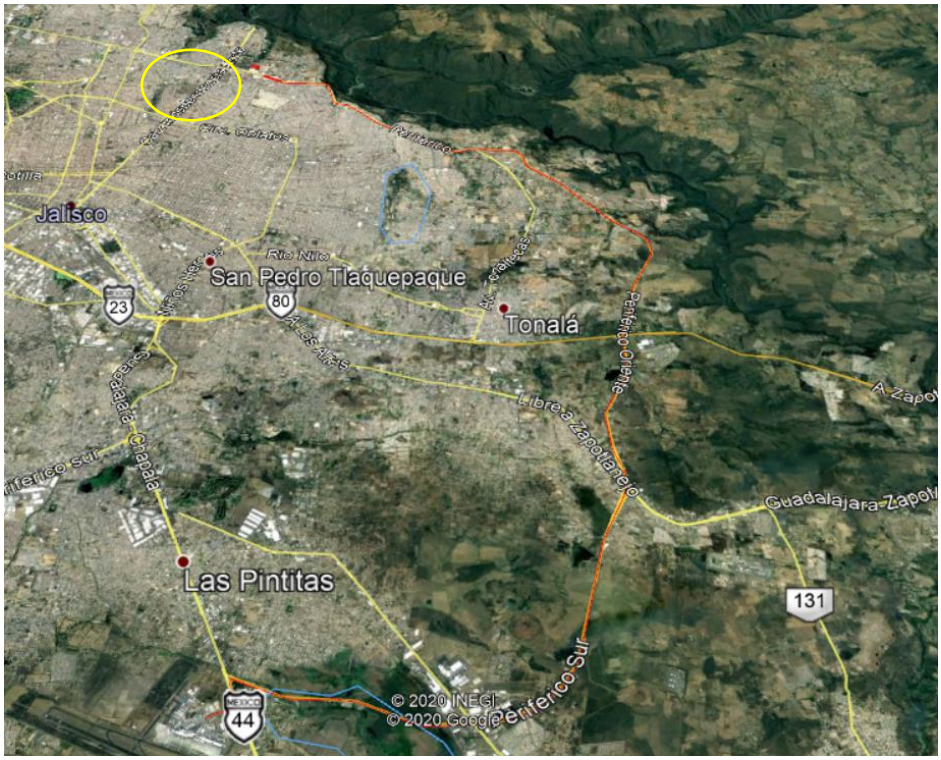

Figura 2: rutas que operarán en el electroterminal[2]

Relieve

Según lo que se observa en imágenes obtenidas desde google earth, el terreno no presenta mayores dificultades por el relieve, por lo que a simple vista, no se observa dificultades para la construcción de una loza o puntos de carga.

Figura 3: Relieve del terreno cercano al electroterminal 1[3]

[2] Fuente: Información entregada por GIZ, como parte del proyecto
[3] Fuente: Google Earth

Recomendaciones Asociadas al Relieve del Terreno

Como parte de la inspección en terreno, es posible percibir que una de las calzadas que da acceso al terreno por el lado oeste se encuentra en mal estado y con bajo nivel de mantenimiento.

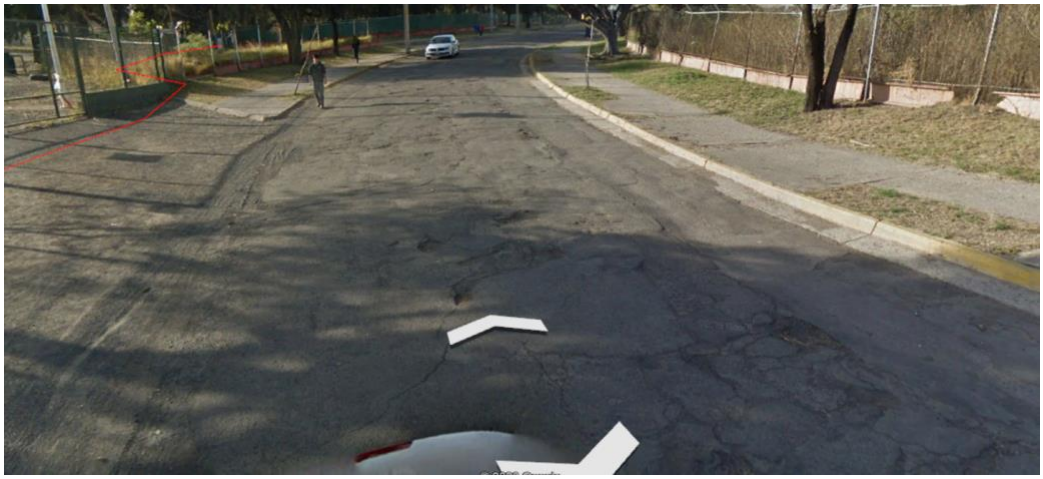

Figura 4: Relieve del terreno cercano al electroterminal 2[4]

Esto puede implicar un deterioro acelerado de los vehículos, por lo que se recomienda el ingreso por la calzada del lado este o solicitar la reparación de esta calle.

Vías de acceso

Alrededor del terreno seleccionado para el electroterminal se puede apreciar vías de secundarias para permitir el ingreso de los buses. A pesar de esto, el terreno para el electroterminal se encuentra próximo al fin de la ruta y cuenta con 2 calles de acceso, lo que podría implicar una ventaja en la operación.

Figura 5: Vías de acceso al terminal[5]

[4] Fuente: Google Earth
[5] Fuente: Google Earth

Energía

Otra de las ventajas del terreno seleccionado es la presencia de cableado, presumiblemente de media tensión en los márgenes del terreno.

Figura 6: Tendido electrico en las proximidades del terminal[6]

Recomendaciones Asociadas a la Disponibilidad de Energía

Si bien, en los márgenes del terreno se puede apreciar tendido eléctrico, es recomendable el analizar la factibilidad energética, con los organismos pertinentes, ya que podría suceder que este circuito esté con poca holgura de energía y hacer compleja la alimentación del electroterminal.

Necesidades eléctricas

Análisis de energía necesaria

Para este análisis y producto de la falta de datos para realizar un análisis, más profundo, se consideraron 2 rutas (Guadalajara 1 y Guadalajara 2). Para estas rutas se consideraron frecuencuas de 12 minutos para la primra y de 20 minutos para la segunda.

Cabe mencionar que el análisis será para el peor caso de carga y considerando una carga inicial cero. Sin embargo, se opta por esta selección de parámetros, para desarrollar una aproximación más segura operacionalmente hablando. Para el análisis de potencia se consideran los parámetros necesarios para el cálculo, según la siguiente fórmula:

$$E_{real} = (E_{ruta} + E_{batería} + E_{accesorios}) / F_{conducción}$$

donde:

[6] Fuente: Google Earth

- E_{real}: energía real que es necesario cargar en el peor caso
- E_{ruta}: energía consumida en ruta, típicamente se da por un factor de rendimiento de X kWh/km, por el número de km
- $E_{batería}$: energía mínima remanente en la batería, usualmente es la capacidad de la batería por un valor entre 10% y 20%.
- $E_{accesorios}$: energía consumida por accesorios de operación no crítica en el bus (climatización, por ejemplo), por la cantidad de horas de operación.
- $F_{conducción}$: Factor de seguridad por eficiencia de los conductores, se utiliza compensar la inexperiencia inicial de los conductores con el freno regenerativo.

En este análisis el factor de rendimiento se definió como 1.2 kWh por km recorrido, con el fin de dejar un margen de operación menos ajustado. Al considerar las recomendaciones de los fabricantes de vehículos, típicamente recomiendan dejar el 10% de la batería disponible y evitar el bajar de este estado de carga, por lo que la energía mínima remanente en la batería se define como 10%. Según experiencias previas, la energía consumida por los accesorios promedia 3.0 kWh, por lo que se define un consumo de 30 kwh, por una jornada de operación de 10 horas (considerando el 50% de la jornada operativa). Finalmente, para el factor que afecta el conductor, se castiga el rendimiento en un 10%, para asegurar que los conductores nuevos van a ser capaces de operar con normalidad a medida que vuelven experimentados en buses eléctricos.

Finalmente, la fórmula para el cálculo de la energía necesaria por bus es la siguiente:

$$E_{real} = (1.2*D_{ruta} + 10\%*1.2*D_{ruta} + 3*19)/ 0.9$$

Donde:

- D_{ruta}: es el kilometaje

Para la primera aproximación al diseño del electroterminal, se realizó la simulación de salida y llegada de las unidades de las rutas.

Ruta Guadalajara 1

Considerando un periodo fijo de retorno de 240 minutos, una ruta de 72 km y una velicidad promedio de 19km/h, según lo entregado como parte del material de referencia, se consigue la siguiente distribución:

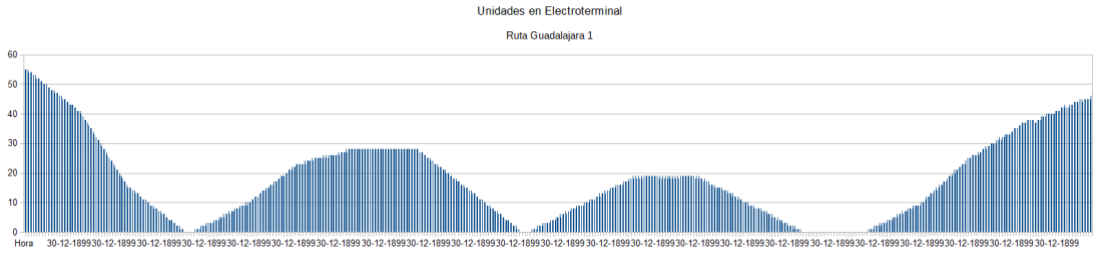

Figura 7: Distribución de ruta Guadalajara 1[7]

Al analizar la cantidad mínima de repeticiones de una unidad, considerando un total de 20 buses, el resultado es de 4 salidas a ruta al día para poder cumplir con los requerimientos de ruta. Esto que entrega un total de 288 kilómetros por unidad, dando como resultado la energía real el siguiente:

$$E_{real} = (1.2*288+ 10\%*1.2*288+ 3*10)/ 0.9$$

$$E_{real} = 455.7 \text{ kWh}$$

Ruta Guadalajara 2

Considerando un periodo fijo de retorno de 240 minutos y una ruta de 72 km con una velicidad promedio de 19km/h, según lo entregado como parte del material de referencia, se obtiene la siguiente distribución:

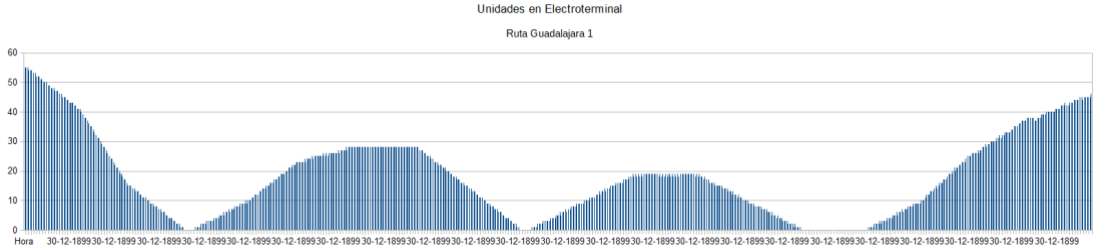

Figura 8: Distribución de ruta Guadalajara 2[8]

Al analizar la cantidad mínima de repeticiones de una unidad, con un total de 15 buses, el resultado es de 4 salidas a ruta al día. Dando como resultado un kilometraje diario de 288 kilómetros por unidad, dando como resultado la energía real el siguiente:

$$E_{real} = (1.2*288+ 10\%*1.2*288+ 3*10)/ 0.9$$

$$E_{real} = 455.7 \text{ kWh}$$

[7] Fuente: Elaboración propia, Dhemax
[8] Fuente: Elaboración propia, Dhemax

Análisis Horario de Carga y Tarifa Eléctrica

La tarifa que probablemente va a ser utilizada para este Electroterminal va a ser la GDMTH, en este caso, es importante considerar la diferencia de costo producto de la tarifa.

Tabla 1: Tarifa GDMTH[9]

Tarifa	Descripción	Int. Horario	Cargo	Unidades	Fecha 01/09/20
		-	Fijo	$/mes	518,46
		Base	Variable (Energía)	$/kWh	0,8456
		Intermedia	Variable (Energía)	$/kWh	1,4904
		Punta	Variable (Energía)	$/kWh	1,6740
		-	Distribución	$/kW	156,80
GDMTH	**Gran demanda en media tensión horaria**	-	Capacidad	$/kW	317,52

Según lo observado en la CFE, el peor caso es durante el día de semana entre el último domingo de octubre y el 31 de enero, periodo en el que la hora punta es considerada entre las 18:00 y las 22:00.

También es recomendable considerar los efectos de la hora intermedia en el proceso de recarga, ya que aumenta el costo de la energía en un 56%. Por lo anterior, se recomienda utilizar proceso de carga intensivo entre las 00:00 y las 06:00, que es horario de valor base para la energía.

Escenarios de Potencia Necesaria

Ruta Guadalajara 1

En esta ruta el total de buses operativos es de 20 unidades, los escenarios de carga considerados son los siguientes:

- 1 carga de 00:00 a 05:00: 91.15 kW
- 2 carga de 00:00 a 06:00: 151.91 kW
- 2 carga de 22:00 a 06:00: 113.93 kW

Según lo mencionado en el apartado anterior, la diferencia del costo de energía por bus al día, de partir el proceso de carga a las 22:00 en vez de a las 00:00, es de $147.01. Al considerar este monto para 10 (el 50%) buses y 30 días, el costo mensual que aumenta la cuenta es de $ 44,104.32.

Sin embargo, la capacidad que se está considerando para la batería, por el momento no es soportada por los buses de 10 m, por lo que es necesario considerar carga con tarifa intermedia.

[9] Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

Por lo anterior, la sugerencia es analizar las opciones de batería que son compatibles con los buses. Para este análisis se utilizaran 5 cargadores que tengan la capacidad de cargar al menos 110 kW por conector, es decir, un cargador de al menos 220 kW.

Ruta Guadalajara 2

Para el caso de la ruta Guadalajara 2, el caso es similar, sin embargo, la cantidad de buses es menor, por lo que se trabaja con 4 cargadores para esta ruta, de la misma potencia que Guadalajara 1 (220kW).

Infraestructura mínima requerida

Sugerencia de cargadores y potencia

Con el fin de homologar la estructura de recarga y considerando que lo más conveniente es cargar dentro de la hora base, se propone homologar los cargadores a la infraestructura de recarga que sea capaz de cargar 110 kW por conector y entregue un total de 220 kW por cargador.

El número de cargadores propuesto es de 9 unidades, considerando 1 puesto de respaldo de carga para situaciones de contingencia. Por lo anterior, y considerando un factor de seguridad de 1.25, la potencia de diseño del Electroterminal es de 2.475 MW.

Infraestructura Eléctrica

Como parte del proyecto de recarga, para evitar los efectos de las corrientes de fuga de los rectificadores y generar un electroterminal con una mayor robustez frente a fallas, se recomienda trabajar con una conexión de media tensión y 5 bloques de carga alimentados cada uno por un transformador de 1.2 MW. Con el fin de mantener la potencia limitada a 2.4MW en total, es necesario considerar un sistema de gestión de recarga y la estrategia de recarga adecuada, que en este caso y según el equipo de reserva considerado, se sugiere mantener un cargador en standby, mientras el resto carga.

Posterior a los elementos descritos en el párrafo anterior, se recomienda el generar tableros de distribución con las protecciones según lo definido por la norma IEC 60364-7-722 o la norma que la reemplace en México, para garantizar la correcta y segura operación de los equipos de carga.

Instalaciones adicionales requeridas

Como elemento adicional se suguiere la instalación de un sistema de respaldo consistente en generadores para respaldar al menos 50% de la potencia. Esto se debe considar para que en caso de corte de energía sea posible realizar carga continuamente durante el día sin ser afectado por la tarifa y adicionalmente respaldar 1 transformador en caso de falla de estos.

Para definir con mayor exactitud este punto, se recomienda el revisar los reportes de confiabilidad de la red en el punto donde está instalado el electroterminal y realizar un refinamiento según las características de los buses seleccionados.

Dimensiones mínimas del Electroterminal

Para el dimensionamiento del electroterminal se considera principalmente la zona de carga de vehículos como punto de mayor necesidad de espacio. Adicionalmente, en este análisis el elemento de buses de combustión interna es descartado y el diseño de genera en base a un terminal para atender solo unidades eléctricas.

Dimensiones mínimas de la zona de carga

La zona a utilizar depende de la posibilidad de compra de terreno, sin embargo, para facilitar la construcción del electroterminal y evitar la codependencia de los vehículos para salir de la zona de recarga, es decir, que una unidad deba moverse para que la que está a continuación se pueda mover, se elige un modelo de carga con estacionamiento en retroceso.

Para este modelo, se selecciona un ángulo de 45 grados en el proceso de estacionamiento para facilitar la maniobra de giro y estacionamiento producto del ángulo de giro de los buses. La unidad mínima para construir el estacionamiento tiene la siguiente arquitectura:

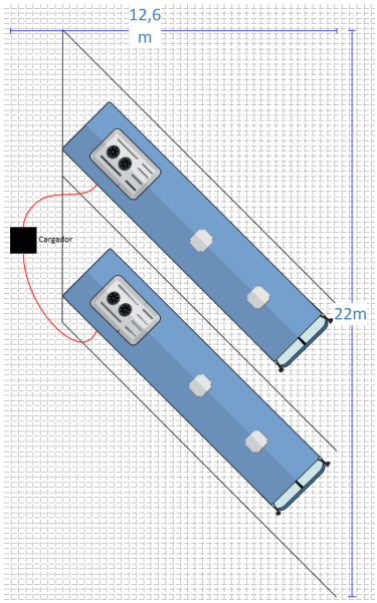

Figura 9: Arquitectura de zona de carga (1)[10]

A este bloque es necesario incorporar una zona de maniobra, para permitir el giro adecuado del bus, para dar un margen de seguridad adecuado, se incorpora una distancia de 9 metros lineales, adicionales al largo del estacionamiento.

[10] Fuente: Elaboración propia, Dhemax

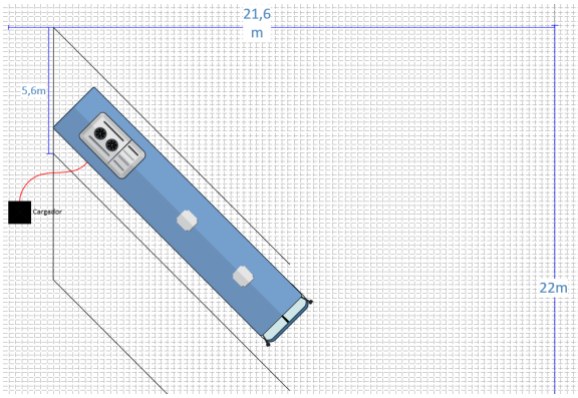

Figura 10: Arquitectura de zona de carga (2)[11]

Con estas medidas es posible diseñar cada una de las líneas de carga, al ir agregando 11.2 m por cada cargador extra con 2 espacios de estacionamiento que se agregue a la línea. Se sigue la siguiente fórmula:

$$A_{carga} = 21.6*[22+11.2*(N_{cargadores-1})]$$

donde:

- A_{carga}: área mínima de la zona de carga, considerando área de circulación
- $N_{cargadores}$: número de cargadores

Producto de lo anterior, el área de carga mínima necesaria es la siguiente:

$$A_{carga} = 21.6*[22+11.2*(8)] = 2{,}410.56 \text{ m2}$$

Este valor representa la zona de recarga de la mitad de las unidades, por lo que anexo a esto, es necesario considerar una zona de estacionamientos, circulación, etc.

Dimensiones mínimas del Electroterminal

Dado que no se pudo obtener información detallada de la flota que operaría en este terminal, se realizarán consideraciones con las áreas establecidas en la tabla 75 del documento “Diseño Funcional y Operacional de Elementos Fundamentales de los Corredores” para el terminal de Monterrey.

[11] Fuente: Documento B2.-3 & 4 Functional and Operational Design of the Fundamental Elements of the Corridors_12 08 2020

Tabla 2: Areas para el terminal de Monterrey
Fuente: Elaboraicón propia. Dhemax

Escenario, buses diesel ó híbridos	Flota Operativa	Flota de Reserva	Flota total	Area de Acceso	Area de Inspección Visual, llenado y limpieza	Área de Estacionamiento y circulación	Área de Mantenimiento	Área Total
Diego Díaz de Berlanga Ida y Retorno	28	3	31	127	254	1.959	392	2.733
Adolfo López Mateos, Ida y Retorno	34	3	37	127	254	2.379	476	3.236
Rómulo Garza, Ida y Retorno	56	6	62	127	254	3.918	784	5.083
Total	**118**	**12**	**130**	**382**	**763**	**8.255**	**1.651**	**11.052**

Si se considera que las unidades son 40, es posible utilizar como referencia los cálculos entregados para la Ruta Adolfo López Mateos, Ida y Retorno y aplicar un factor de corrección al área de mantenimiento y al área de estacionamiento y circulación de 1.0810.

Considerando lo antes mencionado, las superficies estimadas para este terminal son las siguientes.

Tabla 3: Tabla 4: Areas para el terminal de Guadalajara[12]

Escenario, buses diesel ó híbridos	Flota Operativa	Flota de Reserva	Flota total	Area de Acceso	Area de Inspección Visual, llenado y limpieza	Área de Estacionamiento y circulación	Área de Mantenimiento	Área Total
Rutas Gudalajara	35	5	40	127	254	2.572	515	3.341
Total	**35**	**5**	**40**	**127**	**254**	**2.572**	**515**	**3.341**

Se estima que en el proceso de carga se encuentran 18 buses, los que están en el área de recarga y cirulación común de 2,410.56 m^2. Por lo anterior, los buses que necesitan “Área de estacionamiento y circulación”, según la tabla anterior, son 22 sobre una flota de 40 unidades. Así, el “Área de estacionamiento y circulación” se reduce en 45% y a la superficie resultante se agregan los 2,410.56 m^2 definidos para

[12] Fuente: Documento B2.-3 & 4 Functional and Operational Design of the Fundamental Elements of the Corridors_12 08 2020

la zona de carga, quedando la superficie mínima recomendada según la siguiente tabla.

Tabla 5: Areas mínima recomendada para el terminal de Guadalajara[13]

Escenario, buses diesel ó híbridos	Flota Operativa	Flota de Reserva	Flota Car8gando	Flota total	Área de Acceso	Área de Inspección Visual, llenado y limpieza	Área de Estacionamiento y circulación	Área de Mantenimiento	Área de carga	Área Total
Rutas Gudalajara	35	5	18	40	127	254	1,415	515		
Total	35	5	18	40	127	254	1,415	515	2,411	4,722

Diseño o distribución óptima para su operación

Si bien el dimensionamiento anterior es una buena aproximación a los espacios necesarios y la distribución de las líneas de carga, es recomendable refinar el diseño para lograr el óptimo operacional según los presupuestos disponibles, ya que la solución seleccionada representa una de las menos costosas de implementar. Sin embargo, es posible con un costo inicial algo superior generar una solución que entrege un mejor uso de los espacios y una operación más óptima.

Otro de los elementos necesarios para para el diseño, es el conocer el modelo exacto de bus y los accesorios que estos consideran, ya que los rendimientos varían según estos parámetros. La recomendación es realizar una iteración más al momento de tener esos elementos definidos.

Sistemas de seguridad

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

[13] Fuente: Elaboración propia Dhemax

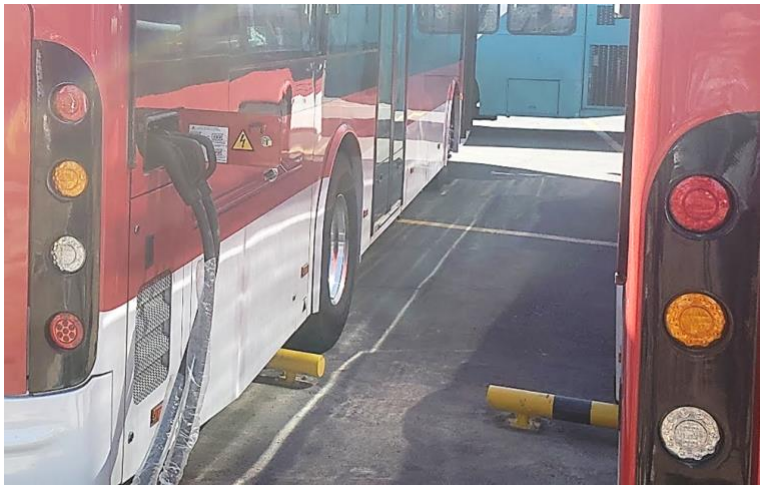

Figura 11: Topes de buses en un electroterminal[14]

Otro elemento necesario, es construir un techo que cubra los cargadores y que además sirva como soporte para los cables de carga, ya que estos deben tocar el pavimento lo menos posible para prolongar su vida útil.

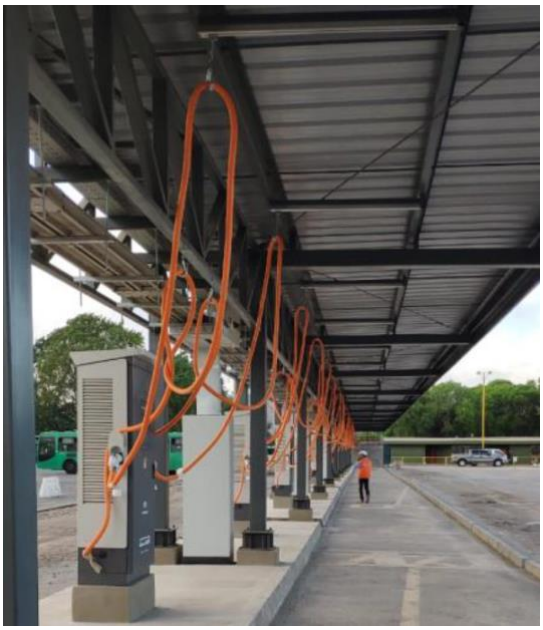

Figura 12: Techo en un electroterminal[15]

[14] Fuente: Elaboración propia Dhemax
[15] Fuente: Presentación el futuro presente de la electromovilidad, Sisercom.

Recomendaciones generales

Dimensionamiento batería de las unidades

Producto de la estructura tarifaria de Guadalajara en general, se recomienda considerar buses con una batería con el dimensionamiento lo más cercano posible a la la energía real (E_{real}) obtenida para cada una de las rutas. para cada una de las rutas, esto con el fin de cargar en horario base y reducir los costos. En caso de no ser esto factible, se recomienda tratar de desplazar lo menos posible de carga a la hora intermedia y en ingún caso, a la hora punta.

Otras recomendaciones

Producto del esquema tarifario imperante en México y la estrategia de recarga definida, es importante utilizar un sistema de gestión que permita definir los horarios habilitados para carga y las potencias, para evitar carga e intermedia en punta, evitando así el cobro por capacidad y sobrecostos en energía.

Producto de la utilización intensiva de los buses, es recomendable utilizar un sistema integrado de gestión de flota y recarga, para tener un correcto seguimiento del desarrollo de la vida útil de la batería.

LISTA DE ABREVIACIONES

CFE Comisión Federal de Electricidad (CFE)

CFF Cities Finance Facility

CMM Centro Mario Molina Chile

GIZ Agencia de Cooperación Alemana

C40 Cities Climate Leadership Group
3 Queen Victoria Street, City
London EC4N 4TQ
United Kingdom

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Potsdamer Platz 10
10785 Berlin
Germany

E contact@c40cff.org
W c40cff.org

Funding Partners:

Federal Ministry for Economic Cooperation and Development
Funded by UK Government
USAID FROM THE AMERICAN PEOPLE

Funding partners:

Federal Ministry for Economic Cooperation and Development
CIFF CHILDREN'S INVESTMENT FUND FOUNDATION
UK Government
USAID FROM THE AMERICAN PEOPLE

Implementing agencies: