EDUARDO ROSERO

SCALING UP RENEWABLE ENERGY II (SURE II) ECUADOR

INFORME. ACTIVIDAD 2.

16.04.2024

This publication was produced for review by the United States Agency for International Development. It was prepared by the Scaling Up Renewable Energy II program (Tetra Tech ES, Inc., prime contractor).

(DELETE THIS BLANK PAGE AFTER CREATING PDF. IT'S HERE TO MAKE FACING PAGES AND LEFT/RIGHT PAGE NUMBERS SEQUENCE CORRECTLY IN WORD. BE CAREFUL TO NOT DELETE THIS SECTION BREAK EITHER, UNTIL AFTER YOU HAVE GENERATED A FINAL PDF. IT WILL THROW OFF THE LEFT/RIGHT PAGE LAYOUT.)

SCALING UP RENEWABLE ENERGY II (SURE II) ECUADOR

Informe. Actividad 2. Análisis de la Demanda de Energía para la Operación de 50 Trolebuses en el Corredor Central -Trolebús

Prepared for:
Energy and Infrastructure Office
U.S. Agency for International Development
1300 Pennsylvania Ave., NW, Washington, DC 20523

Prepared by:
Tetra Tech ES, Inc.
1320 North Courthouse, Suite 600
Arlington, VA 22201
www.tetratech.com

USAID Contract No. 7200AA19D00029/7200AA20F00013

DISCLAIMER
The views expressed in this publication do not necessarily reflect the views of the United States Agency for International Development or the United States Government.

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO 4

1 INTRODUCTION 8

2 CORREDOR CENTRAL TROLEBUS 9
2.2 CIRCUITO C2: RECORRIDO ENTRE MORÁN VALVERDE Y EL LABRADOR 13
2.3 CIRCUITO C4: RECORRIDO ENTRE QUITUMBE A COLÓN 14
2.4 CIRCUITO C6: RECORRIDO QUITUMBE HASTA EL RECREO 15
2.5 TALLER Y PATIO EL RECREO 15
2.6 NECESIDAD DE FLOTA PARA ATENDER CIRCUITOS DEL CORREDOR CENTRAL TROLEBUS 16

3 REEMPLAZO DE TROLEBUSES POR LA EPMTPQ 17
3.1 LA POTENCIA DE LOS TROLEBUSES 17
3.2 FUNCIONAMIENTO CON BATERIAS DE TRACCION 18
3.3 CARGA DE BATERIAS DE TRACCION 18
3.4 OBSERVACIONES A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS 19

4 DEMANDA DE ENERGIA 19
4.1 GENERALIDADES 19
4.2 ESTUDIOS DE SIMULACIÓN DE SUMINISTRO ELECTRICO DE TROLEBUSES 20
4.3 ENERGIA 21
4.4 POTENCIA 22
4.5 TENSION DE CATENARIA 24
4.6 NECESIDAD DE SUBESTACION DE TRACCION EL LABRADOR 25
4.7 FUNCIONAMIENTO CON BATERIAS DE TROLEBUSES 26
4.8 ALTERNATIVA DE TROLEBUSES ENTRE QUITUMBE Y EL RECREO 27
4.9 RECOMENDACIONES 28

5 SISTEMA DE ALIMENTACION PARA LA INFRAESCTRUTURA DE CARGA29
5.1 DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA DE SUMINISTRO ELECTRICO DE TROLEBUSES EN QUITO 29
5.2 SUBESTACIONES DE TRACCIÓN 30
5.2.1 INTRODUCCIÓN A LA SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN 30
5.2.2 ACONDICIONAMIENTO DE SUBESTACION DE TRACCION Y ACTUACIONES DE CORTO PLAZO 32
5.2.3 ACTUALIZACION DE MEDIANA VIDA DE LAS SUBESTACIONES DE TRACCIÓN 33
5.2.4 CAMBIO DE TENSION DE CONEXIÓN DE 6.3 KV A 22.8 KV 34
5.3 CATENARIAS 34

6 NECESIDADES DE ACTUALIZACION DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE 36

7 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES 38

8 REFERENCIAS 40

9 ANEXOS 41
9.1 ANEXO 1. ESTADO DE LAS SUBESTACIONES DE TRACCION 41
9.2 ANEXO 2. MODELO DE CALCULOS DE ENERGÍA Y POTENCIA 59

ABREVIATURAS

AC	Aire Acondicionado
BEB	Buses Eléctricos de Batería
BRT	Buses de Tránsito Rápido
CA	Corriente Alterna
CAPEX	Inversión de Capital
CC	Corriente Continua
BEB	Buses Eléctricos a Batería
EEQ	Empresa Eléctrica Quito
EPMTPQ	Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros Quito
ESE	Energía Sostenible para Ecuador
HMI	Human Machine Interface
kV	kilo Volt
V	Volt
kW	kilo Watt
kWh	kilo Watt-hora
LAC	Línea Aérea de Contacto
LFP	Fosfato Ferroso de Litio
LTO	Oxido de Titanita-Litio
NDC	Contribución Nacional Determinada
NMC	Oxido de Cobalto, Magnesio, Níquel y litio
PLC	Programmable Logic Controller
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition System
SOC	Estado de Carga
SOH	Estado de Salud
SURE	Scaling Up Renewable Energy
UNOPS	Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe se enfoca en el análisis de la demanda de energía para la operación de 50 trolebuses que se encuentran en proceso de licitación pública internacional por parte de la EPMTPQ.

1. Para reemplazar los trolebuses existentes de 1995 y 1999, la EPMTPQ inició una licitación para 50 nuevos trolebuses. Los nuevos trolebuses utilizarán la infraestructura de suministro de energía de los trolebuses existente, desarrollada y construida en los años 90. Se revisaron los planes de la EPMTPQ para la reparación, modernización y ampliación de las subestaciones de tracción y las catenarias del Corredor Trolebús. Además, se examinó el pliego de condiciones para la licitación de 50 trolebuses en relación con el suministro eléctrico de la infraestructura de trolebuses. Dado que las especificaciones de los autobuses están abiertas a una variedad de características de los trolebuses, el impacto potencial de los 50 nuevos trolebuses en el diseño del sistema de suministro de energía de los trolebuses se evaluó basándose en el escenario "optimista" y "pesimista".

2. Las especificaciones de los 50 nuevos trolebuses plantean requisitos más bien "funcionales" y confían en que el fabricante optimice su oferta dentro de las posibilidades de su cartera de productos. El impacto de este enfoque es que se optimizarán las especificaciones de los 50 nuevos trolebuses, sin considerar el impacto en el sistema de suministro de energía de los trolebuses, incluidas las catenarias y las subestaciones de tracción, que sólo podrá evaluarse después de que se conozcan las características de los trolebuses.

3. Los 50 nuevos trolebuses están previstos para operar inicialmente en el circuito C1 (El Recreo a El Labrador), que es la parte del sistema de trolebuses que se encuentra actualmente en funcionamiento. EPMTPQ considera que el número de pasajeros en el circuito C1 puede reducirse debido a la nueva línea paralela del metro. Por ello, la EPMTPQ considera que en el futuro (parte de) los nuevos trolebuses también podrán circular entre Quitumbe y El Recreo. Este tramo está equipado con un sistema de trolebús que no está en uso desde 2018.

4. EPMTPQ posee once subestaciones de tracción de las cuales cinco se encuentran actualmente en operación, dos son posibles de operar y cuatro están fuera de servicio. Además, hay que realizar algunos trabajos de mantenimiento en otras cuatro subestaciones de tracción. La reparación de seis subestaciones deberá estar terminada antes de la llegada de los 50 nuevos Trolebuses (2025). La reparación de Solanda y El Recreo deberá estar terminada antes de que operen los nuevos Trolebuses entre Quitumbe y El Recreo, lo cual podrá decidirse en el futuro. EMPTPQ ha iniciado el proceso de contratación de los servicios para estas acciones de corto plazo, que se pretende culminar en 2024.

5. Teniendo en cuenta que las subestaciones de tracción existentes han estado operando durante 20 o 29 años y que los nuevos trolebuses estarán en funcionamiento durante los próximos 20 a 25 años, las subestaciones requieren una actualización de "mediana vida" en los próximos años. Esta actualización incluirá el reemplazo de dispositivos de protección, PLC, medidor, redes de puesta a tierra, interruptores extra rápidos de CC, bancos de baterías y sus cargadores. Además, es necesario modernizar las subestaciones de tracción mediante la introducción de instalaciones de monitorización remota (SCADA) y medidas de protección de seguridad adicionales, como la instalación de cámaras. Se priorizarán las subestaciones de tracción de la primera fase, pero si el tramo Quitumbe – El Recreo también se utilizará para la operación de trolebuses, las subestaciones de tracción de la segunda fase también requieren una actualización de mediana edad.

6. EEQ prevé cambiar el voltaje de conexión de la subestación de tracción Mariana de Jesús de 6.3 kV a 22.8 kV, muy probablemente en el año 2025. La solución preferida es instalar un transformador de 22.8

kV a 6.3 kV frente a la subestación de tracción que se conectará a la nueva conexión de 22.8 kV que ofrece EEQ. Para Mariana de Jesús, se recomienda instalar este transformador junto con las actividades de reparación requeridas que permitirían volver a operar esta subestación de tracción, las cuales están previstas para el año 2024. La EPMTPQ debe coordinar con la EEQ la instalación de dicho transformador en esta estación. Para otras subestaciones, la EEQ no planea un cambio a 22.8 kV dentro de los próximos cinco años.

7. Los 50 nuevos trolebuses podrán circular de forma autónoma durante 75 kilómetros, lo que significa que toda la flota de trolebuses debería poder seguir funcionando durante unas cuatro horas. El objetivo principal de este requisito es proporcionar redundancia en el sistema, pero la operación planificada fuera de las catenarias también debe ser aceptable durante al menos un total de 20 km. Esto permitiría utilizar los trolebuses del tramo Quitumbe – El Recreo en funcionamiento con batería; por lo tanto, sin necesidad de operar el sistema eléctrico de trolebuses en este tramo. Si se considera técnicamente factible (ver más abajo), esto podría permitir eliminar esta parte del sistema de trolebús.

8. Una estimación inicial confirma que la capacidad instalada de las subestaciones de tracción debería ser suficiente para suministrar la máxima potencia a los nuevos trolebuses en el circuito C1. Sin embargo, sin conocer las características de los 50 nuevos trolebuses no se puede afirmar que la tensión en las catenarias esté dentro de los límites operativos requeridos. En el escenario optimista, las subestaciones de tracción existentes serían suficientes para garantizar un nivel de tensión adecuado. En ese escenario, la reparación y la actualización de mediana edad de las subestaciones de tracción existentes será suficiente y no se requerirán inversiones en nuevas subestaciones de tracción. Sin embargo, en el escenario pesimista, se requerirá una nueva subestación de tracción en El Labrador y si se utilizará la operación del Corredor Trolebús entre Quitumbe y El Recreo, se requerirá una nueva subestación en Quitumbe. Para mitigar los riesgos de i) suministro de energía insuficiente y ii) sobreinversión en subestaciones de tracción, se recomienda realizar un estudio de simulación como se analiza en el siguiente punto. Este estudio deberá completarse, lo antes posible, una vez se conozcan las especificaciones detalladas de los nuevos trolebuses considerando que la llegada de éstos está prevista para 2025.

9. Los sistemas de trolebús generalmente se diseñan mediante estudios detallados que abordan la energía, la potencia y el voltaje, en función de las características del sistema de energía del trolebús, la geografía de la ruta, las características del trolebús y las operaciones (inicios y paradas, horario). Se recomienda el uso de software específico. Una vez conocidas las características detalladas de los trolebuses, recomendamos realizar un estudio detallado por parte de una empresa especializada, con los siguientes objetivos:

- Para operación del circuito C1:
  - Confirmar que el voltaje en las catenarias estará dentro del rango requerido para el funcionamiento de los trolebuses/la carga de las subestaciones de tracción está dentro de sus límites, incluso cuando se cargan las baterías de los trolebuses.
  - Evaluar la necesidad de una nueva alimentación en El Labrador y, de ser así, evaluar soluciones alternativas para una nueva subestación de tracción en El Labrador, como por ejemplo, un cable paralelo suministrado por una subestación de trolebús existente, que alimente la catenaria en El Labrador.
- Para operación de Quitumbe a El Recreo:
  - Evaluar la necesidad de una nueva subestación de tracción Quitumbe o una solución alternativa.
  - Evaluar la posibilidad de operar el tramo Quitumbe a El Recreo de forma autónoma con las baterías de los trolebuses en lugar de utilizar el suministro eléctrico de las catenarias.

10. Para un proyecto exitoso se recomienda la siguiente hoja de ruta.

TABLA 1: Pasos propuestos para el sistema eléctrico de Trolebús

Cuando	Ubicación	Acciones requeridas
En cuanto se conozcan las especificaciones de los nuevos Trolebuses	**El Recreo a El Labrador**	- Estudio de simulación para confirmar si la operación de 47 Trolebuses en el circuito C1 no resultará en sobrecarga de las subestaciones de tracción existentes o en operación fuera del rango de tensión de 750 Vdc +20%, -30% en las catenarias (ver secciones 4.2, 4.4 y 4.5). Si esto no se puede confirmar, el estudio debería confirmar la necesidad de una nueva subestación de tracción en El Labrador u otras medidas alternativas (sección 4.6).
	Quitumbe a El Recreo	- Estudio de simulación para confirmar que las subestaciones de tracción y catenarias serán suficientes para soportar la operación entre Quitumbe y El Recreo. Si esto no se puede confirmar, el estudio debería confirmar la necesidad de una nueva subestación de tracción en Quitumbe u otras medidas alternativas. - Estudio de simulación para investigar la solución alternativa para operar entre Quitumbe y El Recreo únicamente con baterías de trolebuses, que permita retirar el sistema eléctrico de trolebuses entre Quitumbe y El Recreo. - Decisión de mantener el sistema de abastecimiento de trolebuses entre Quitumbe y El Recreo.
Antes de la llegada de los 50 nuevos trolebuses (finales de 2024)	**Subestación de tracción Villaflora**	- Reposición de cables robados y reparación de daños.
	Subestación de tracción Cumandá	- Reposición de cables robados y reparación de daños. - Reparación de fugas en transformadores.
	Subestación de tracción San Blas	- Reemplace el interruptor extrarrápido.
	Subestación de tracción Ejido	- Reparación del sistema de comunicaciones entre el PLC y el HMI.
	Subestación de tracción Mariana de Jesús	- Reparación del sistema de control de las celdas L3, ND1 y los carros feeder. - Cambio de voltaje entrante de 6.3 kV a 22.8 kV instalando un transformador de 22.8/6.3 kV junto a la subestación de tracción. - Reparación de fugas en transformadores.
	Subestación de tracción La Y	- Reparación de fugas en transformadores.
	Catenarias	- Reemplazo de cable de catenaria desgastado. - Reparación de postes de alumbrado y cable de catenaria.
Antes que los trolebuses hagan uso de catenarias entre Quitumbe y	**Subestación de tracción Solanda**	- Reemplazo de las celdas entrantes J1 y J2 de 22.8 kV.
	Subestación de tracción Lino Flor	- Reparación de fugas en transformadores.

Cuando	Ubicación	Acciones requeridas
El Recreo *(si se decide mantener el sistema de suministro de trolebuses entre Quitumbe y El Recreo)*	**Subestación de tracción El Recreo**	- Revisión de la celda ND2.
	Quitumbe	- Evaluación de la necesidad de reforzar el suministro eléctrico de Trolebús en Quitumbe y de ser necesario instalar las medidas necesarias (ver sección 4.8)
	Catenarias	- Restaurar las Catenarias en el terminal de Quitumbe y entre Quitumbe y Morán Valverde.
En los próximos cinco años	**Todas las subestaciones de tracción.**	- Actualización de mediana edad, mediante el reemplazo de equipos 'al final de su vida útil' (interruptor de CC, dispositivos de protección, PLC, medidor, bancos de baterías y sus cargadores) y modernización de la subestación (introducción de SCADA, medidas de protección de seguridad adicionales).
No dentro de cinco años y cuando lo requiera el operador de red EEQ	**Todas las subestaciones de tracción en 6.3 kV** *(excepto Mariana de Jesús que ya cambia en 2025, ver arriba).*	- Conexión de la subestación de 6.3 kV a 22.8 kV instalando un transformador de 22.8/6.3 kV junto a la subestación de tracción.
A lo largo de la vida:	**Todas las subestaciones de tracción y catenarias.**	- Continuar con el mantenimiento y seguimiento adecuados de los componentes.

1 INTRODUCTION

En Ecuador se han establecido importantes directrices en materia de movilidad sostenible a nivel nacional. Por ejemplo, en la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), se incluye como una iniciativa incondicional del sector de energía con la meta de impulsar el transporte público masivo principalmente mediante energía eléctrica (Ministerio de Energía, 2021). Asimismo, la Ley Orgánica de Competitividad Energética expedida en enero de 2024 modifica la Ley Orgánica de Eficiencia Energética[1], en su artículo 24, establece que a partir del año 2030 todos los vehículos destinados al transporte público urbano e interparroquial en el Ecuador continental deberán ser exclusivamente de medio motriz 100% eléctrico o de cero emisiones (Asamblea Nacional de la República de Ecuador, 2024). En este contexto, el Programa Scaling Up Renewable Energy (SURE), una iniciativa de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés), busca apoyar a los diferentes países socios, como lo es Ecuador, en el cumplimiento de los compromisos establecidos en las Contribuciones Nacionales Determinadas (NDCs) a nivel internacional, así como también, acelerar la transición energética y sostenible.

Bajo este programa, Tetra Tech es la entidad implementadora del proyecto Energía Sostenible para Ecuador (ESE). Dicha entidad ha contratado a Grütter Consulting para la ejecución de la presente consultoría con el fin de proveer asistencia técnica la Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros Quito (EPMTPQ) encargada de la operación de los corredores de Buses de Tránsito Rápido (BRT) en Quito: Trolebús y Ecovía.

Los dos objetivos principales del proyecto son: (i) proveer asistencia técnica a la EPMTPQ de manera que le permita tomar decisiones sobre las inversiones prioritarias y definir sus características técnicas para la exitosa implementación de la estrategia de electromovilidad de la empresa y (ii) proveer asistencia técnica a la EPMTPQ de manera que le permita preparar un 'Plan de Acceso Universal' para los usuarios del corredor Trolebús acorde con los lineamientos de la Secretaría de Inclusión Social.

La consultoría comprende cinco componentes que se detallan a continuación:
Actividad 1. Evaluación de la viabilidad de convertir buses diésel a eléctricos.
Actividad 2. Análisis de la demanda de energía para la operación de los 50 trolebuses.
Actividad 3: Análisis de buses eléctricos de 12 metros para implementar en las rutas alimentadoras.
Actividad 4: Proponer medidas para mejorar la accesibilidad al sistema del corredor Trolebús
Actividad 5: Compartir lecciones aprendidas.

En el marco del desarrollo de esta consultoría, y en desarrollo de la *"Actividad 2 Análisis de demanda de energía para la operación de los 50 trolebuses en la ruta Circuito 1 "Recreo – Labrador"* y de mantener abierta la posibilidad de utilizar trolebuses entre El Recreo - Quitumbe", el objetivo de este informe es realizar un análisis de la demanda de energía para la operación de 50 trolebuses que se encuentran en proceso de licitación pública internacional por parte de la EPMTPQ.

El informe contine los siguientes capítulos:

- Capítulo 2 presentación de la descripción general del Corredor Central Trolebús
- Capítulo 3 revisión del reemplazo de trolebuses por la EPMTPQ.

---

[1] https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/12/20190319-S_R_O_449_19_MARZO_LEY-ORGANICA-DE-EFICIENCIA-ENERGETICA.pdf

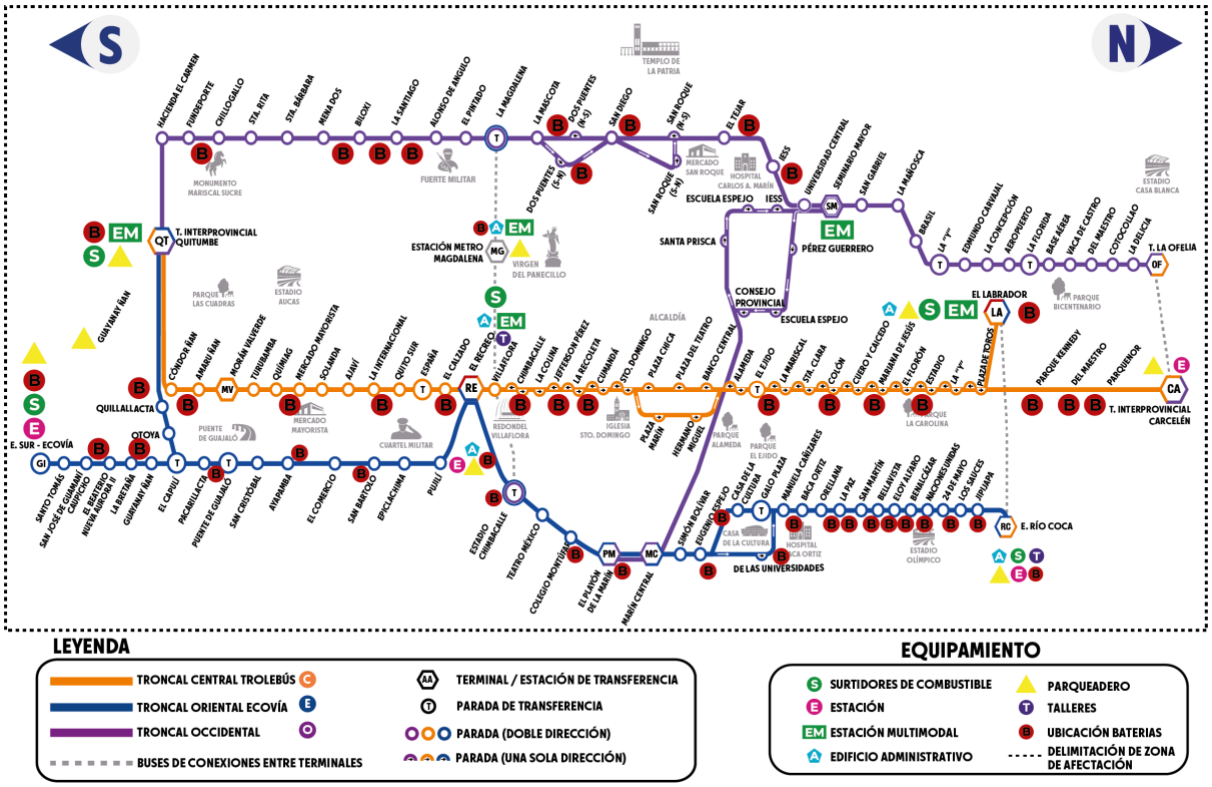
- Capítulo 4 análisis de demanda de energía para los 50 trolebuses en proceso de adquisición.
- Capítulo 5 revisión del sistema de alimentación instalado.
- Capítulo 6 indica las necesidades de actualización de la infraestructura existente.
- Capítulo 7 presentación de recomendaciones y conclusiones.

2 CORREDOR CENTRAL TROLEBUS

El Subsistema Metrobús-Q lo conforman los corredores BRT (Corredor Central Trolebús, Corredor Oriental Ecovía y el Corredor Occidental) y las rutas alimentadoras. La siguiente figura muestra los diferentes corredores BRT donde en color magenta se identifica el Corredor Occidental, en color naranja el Corredor Central Trolebús y en color azul el Corredor Oriental Ecovía.

La Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros de Quito (EPMTPQ) creada mediante la Ordenanza Municipal No. 0314 del 13 de julio de 2010; actualmente administra los corredores Trolebús y Ecovía. El Corredor Occidental y 48 rutas alimentadoras son operados por transportadores privados.

FIGURA 1: Corredores BRT del Subsistema Metrobús-Q



Fuente: EPMTPQ, 2024

El Corredor Central Trolebús tiene un total de 19.7 km en el sentido Sur-Norte y en el sentido Norte – Sur una distancia de 19.6 km[2], 49 paradas, 3 estaciones (El Labrador, El Recreo y Moran Valverde) y una terminal (Quitumbe), tal como se muestra en la siguiente figura.

[2] La distancia contemplada es entre la estación Labrador y el Terminal Quitumbe.

FIGURA 2: Corredores BRT del Subsistema Metrobús-Q

Fuente: EPMTPQ, 2024

Las características generales del corredor Central Trolebús son descritas en la siguiente tabla.

TABLA 2: Características del Corredor Central Trolebús

Características	Central Trolebús
Longitud	19.7 km sentido Sur-Norte 19.6 km sentido Norte-Sur
Carril por dirección	1 carril[3]
Ubicación de paradas	Centrales entre estación El Recreo y terminal Quitumbe Laterales entre El Recreo y estación El Labrador
Ubicación de puertas	Izquierda y derecha
Paradas	49
Estaciones	3 (El Labrador, El Recreo y Morán Valverde)
Terminales	1 (Quitumbe)[4]
Abordaje en parada (altura de la plataforma en parada)	Plataforma: 80 cm en paradas de laterales (buses puerta derecha) o 90 cm de altura (buses puerta izquierda)
Características de la capa de rodadura de las vías	Entre la Terminal Quitumbe – Parada La Colina: pavimento rígido. (9.5k m) Las paradas Colina y Alameda: pavimento flexible. (2.9 km)

[3] Carril compartido con tráfico liviano en la zona del Centro Histórico (desde la Avenida Maldonado y Sena hasta la Avenida Maldonado y Pedro de Alfaro).

[4] Carcelén es otra terminal que no se refleja en la figura, ya que a la fecha no se opera con buses EPMTPQ y fue suspendida debido a la emergencia sanitaria del Covid-19, a la fecha este tramo no está operando con buses de la EPMTPQ.

Características	Central Trolebús
	La parada Alameda y la Estación El Labrador[5]: pavimento rígido (7.35 km)
Pendiente máxima	15%[6]
Categoría de buses en operación actualmente	Trolebuses Articulados/ Articulados MB-O500/ Biarticulado Volvo B340M
Demanda diaria de pasajeros	125,783 (promedio día ordinario, noviembre 2023) 105,373 (promedio día ordinario, enero 2024)[7]
Índice de Pasajeros por kilómetros	4.3
Kilómetros promedio mes del 2023	825,229.71
Kilómetros total año del 2023	28,057,810
Pasajeros promedio mes del 2023	3,476,783
Kilómetros total año del 2023	118,210,623
Carga máxima (pasajeros/h/sentido)	Parada El Capulí (Sur-Norte): 26,047 Parada El Capulí (Norte - Sur): 25,908[8]
Número de Circuitos (rutas en servicio)	4 que corresponden a C1, C2, C4 y C6
Frecuencia de cada circuito días ordinario	C1: 2 min. hora pico/ 4 min. hora valle C2: 10 min. hora pico/ 12 min. hora valle C4: 5 min. hora pico/ 10 min. hora valle C6: 10 min. hora pico/ 15 min. hora valle
Velocidad comercial promedio (km/h)	17.28 km/h[9]
Flota en operación promedio en día ordinario por circuito	C1: 8 articulados, 16 biarticulados y 15 trolebuses C2: 14 articulados C4: 18 biarticulados C6: 6 biarticulados
Distancia promedio recorrida por bus[10]	Trolebuses: 158 km/día Articulados MB-O500: 147 km/día

[5] En el tramo sobre la Galo Plaza entre el intercambiador de El Labrador hasta Issac Albéniz aproximadamente 500m es pavimiento flexible.
[6] Con base en la información entregada por la Gerencia Técnica, el área de infraestructura de la EPMTPQ midió en campo a través del método de triangulación tomada en terreno se identificó que la pendiente máxima del corredor Central Trolebús es de 13% en la Avenida Pedro Vicente Maldonado entre Roca Fuerte y Parada Cumandá; sin embargo, se decide por parte de la EPMTPQ incluir un quince por ciento de error para llegar así a llegar a una pendiente máxima de 15%. El valor de pendiente de 15% es la utilizada dentro de los términos de referencia de la licitación pública internacional para la adquisición de los 50 trolebuses 100% eléctricos.
[7] La demanda en el corredor Central Trolebús ha caído debido a la entrada en operación del Metro de Quito que inicio operación comercial en el mes de diciembre de 2023.
[8] Página 22. Alcaldía de Quito, 2023. Plan de Transporte Público.
[9] Página 21. Alcaldía de Quito, 2023.
[10] Los trolebuses solo operan en el Circuito C1 del corredor Trolebús, ya que los trolebuses que operan tienen sólo puerta y las paradas derechas sobre el corredor Trolebús se ubican desde la Estación El Recreo a la Estación El Labrador.

Características	Central Trolebús
	Biarticulado Volvo B340M: 200 km/día

Fuente: Área de Planeación y Área de operaciones de EPMTPQ, febrero 2024.

Es relevante indicar que el sistema no tiene un sistema de recaudo centralizado; por lo tanto, no es posible conocer la demanda por hora ni por circuitos, ya que el recaudo se hace de manera manual en cada una de las paradas, estaciones y terminales a lo largo del corredor.

Por lo tanto, la información de personas que usan el corredor se calcula con base el número de tiquetes vendidos en total en cada día cada por el tipo de tarifa (Tarifa Normal (TI), Tarifa Reducida (TR) y Tarifa Preferencia (TP)).

Actualmente, en esta troncal operan 4 circuitos o rutas, denominados Circuito C1, Circuito C2, Circuito C4 y Circuito C6; así como un Taller-Patio, que se describen a continuación.

2.1 CIRCUITO C1: RECORRIDO ENTRE EL RECREO Y EL LABRADOR

La siguiente figura presenta el recorrido del Circuito C1 desde El Recreo hasta El Labrador. El recorrido completo de este circuito (recorrido redondo) 25.5 km, es decir, 12.25 km por sentido.

La flota operativa de trolebuses sólo opera en el Circuito C1, ya que es el único tramo que cuenta con línea aérea de contacto en operación. Los trolebuses tienen puertas sólo en el costado derecho y las paradas entre El Recreo y Quitumbe son centrales, es decir, este tramo se opera con buses que tengan puertas a la izquierda. La siguiente figura presenta el recorrido de este circuito.

FIGURA 3: Circuito C1 desde estación El Recreo hasta estación El Labrador

Fuente: EPMTPQ, 2024

Este circuito es operado durante días ordinarios desde 5:00 hasta 22:00, días sábado desde 6:00 hasta 21:00 y días domingo desde 6:00 hasta 20:00. La frecuencia de este circuito es de 2 minutos en hora pico y 4 minutos en hora valle.

TABLA 3: Vehículos que operan en el Circuito C1 en promedio por día

Tipo de Bus	Categoría	Modelo (año)	# de unidades ordinario	# de unidades sábado	# de unidades domingo
MB-O500	Articulado	2014	8	5	8
Volvo B340M	Biarticulado	2016	16	14	11
Trolebuses	Articulado	1995/1999	15	6	4
		Total	**39**	**25**	**23**

Fuente: Área de operaciones de EPMTPQ, febrero 16, 2024

2.2 CIRCUITO C2: RECORRIDO ENTRE MORÁN VALVERDE Y EL LABRADOR

La siguiente figura presenta el recorrido del Circuito C2 desde la estación Morán Valverde hasta la estación El Labrador. El recorrido completo de este circuito (recorrido redondo) es de 35.4 km, es decir 17.7 km por sentido.

FIGURA 4. Circuito C2 desde estación Morán Valverde hasta estación El Labrador

Fuente: EPMTPQ, 2024

Este circuito es operado durante sólo días ordinarios desde 5:20 hasta 8:30 y desde 15:45 hasta 19:30. La frecuencia de este circuito es de 10 minutos en hora pico[11] y 12 minutos en hora valle.

La siguiente tabla presente el número de unidades promedios utilizadas para operar este circuito por tipo de bus y categoría.

TABLA 4: Vehículos que operan en el Circuito C2 en promedio por día

Tipo de Bus	Categoría	Modelo (año)	# de unidades día ordinario	# de unidades sábado	# de unidades domingo
MB-O500	Articulado	2014	14	No opera	No opera

[11] Hora pico son los siguientes periodos: 6:00 – 8:30 y 16:30 – 19:30.

Tipo de Bus	Categoría	Modelo (año)	# de unidades día ordinario	# de unidades sábado	# de unidades domingo
Total			**14**		

Fuente: Área de operaciones de EPMTPQ, 16 de febrero 2024.

2.3 CIRCUITO C4: RECORRIDO ENTRE QUITUMBE A COLÓN

El Circuito C4 recorre desde el Terminal Quitumbe hasta la parada Colón. El recorrido completo de este circuito (recorrido redondo) es de 29.6 km, es decir 14.8 km por sentido, tal como se presenta en la siguiente figura.

FIGURA 5. Circuito C4 desde terminal Quitumbe hasta parada Colón

Fuente: EPMTPQ, 2024

Este circuito opera durante días ordinarios desde 5:00 hasta 18:30, días sábado y domingo desde 6:00 hasta 17:30. La frecuencia es de 5 minutos en hora pico[12] y 10 minutos en hora valle en días ordinarios. La frecuencia los sábados es de 9 minutos en hora pico y 15 minutos en hora valle, y el domingo 10 minutos en hora pico y 12 minutos en hora valle.

TABLA 5: Vehículos que operan en el Circuito C4 en promedio por día

Tipo de Bus	Categoría	Modelo (año)	# de unidades día ordinario	# de unidades sábado	# de unidades domingo
Volvo B340M	Biarticulado	2016	18	13	13
Total			**18**	**13**	**13**

Fuente: Área de operaciones de EPMTPQ, 16 febrero 2024.

[12] Hora pico en días ordinarios son las siguientes franjas: 6:00 – 8:30; 12:30 – 13:00 y 16:30 – 19:30. Hora pico en días sábado son las siguientes franjas: 6:00 – 8:30. Hora pico en días domingo son las siguientes franjas: 18:00 – 20:00.

2.4 CIRCUITO C6: RECORRIDO QUITUMBE HASTA EL RECREO

El Circuito C6 tiene un recorrido desde la Terminal Quitumbe hasta la estación El Recreo. El recorrido completo de este circuito (recorrido redondo) es de 14.7 km, es decir 7.4 km por sentido, tal como se presenta en la siguiente figura.

FIGURA 6. Circuito C6 desde Terminal Quitumbe hasta estación El Recreo

Fuente: EPMTPQ, 2024

Este circuito opera durante días ordinarios desde 5:05 hasta 22:05, y en días sábado desde 6:00 a 21:10 y domingo desde 6:00 hasta 20:10. La frecuencia es de 10 minutos en hora pico[13] y 15 minutos en hora valle en días ordinarios. La frecuencia los sábados y domingos de 12 minutos en hora pico y 17 minutos en hora valle.

TABLA 6: Vehículos que operan en el Circuito C6 en promedio por día

Tipo de Bus	Categoría	Modelo (año)	# de unidades día ordinario	# de unidades sábado	# de unidades domingo
Volvo B340M	Biarticulado	2016	6	7	5
Total			**6**	**7**	**5**

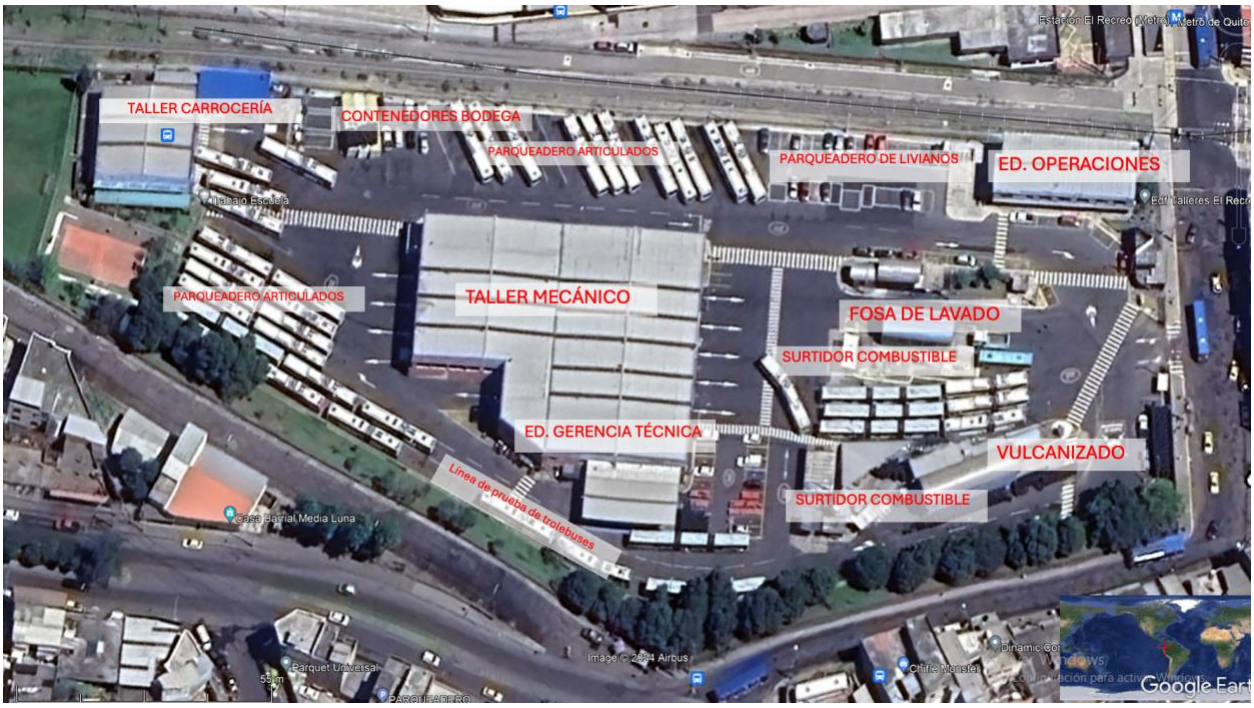
Fuente: Área de operaciones de EPMTPQ, 16 de febrero 2024.

2.5 TALLER Y PATIO EL RECREO

En la siguiente figura se muestra una imagen del taller-patio El Recreo, en donde se hace el mantenimiento de todos los trolebuses y los buses biarticulados en operación. El taller-patio El Recreo tiene un área total de 2.4 hectáreas donde se ubica el edificio de la gerencia de operaciones (incluye el centro de control), el edificio de la gerencia técnica, los talleres mecánico y de carrocería, contenedores para bodega de repuestos, fosa de lavado, dos dispensadores o surtidores de combustible diésel, una línea de prueba de trolebuses, zona de vulcanizado, área para estacionamiento de los buses articulados y biarticulados y área de parqueadero de vehículos livianos.

[13] Hora pico son las siguientes franjas: 6:00 – 8:30; 12:30 – 13:00 y 16:30 – 19:30.

FIGURA 7: Taller de mantenimiento y patio El Recreo



Fuente: Tomada de Google Earth. EPMTPQ, 2024.

Actualmente, en El Recreo se parquean un total de 55 unidades tal como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 7: Número de vehículos que parquean en El Recreo

Tipo de Bus	Categoría	Modelo (año)	# de unidades
Trolebuses	Articulado	1995/1999	39
Volvo B340M	Biarticulado	2016	2
Volvo B12M	Articulado	2011	5
Volvo B10M	Articulado	2003	5
MB 0500M	Articulado	2015	4
		Total	**55**

Fuente: Área infraestructura de la EPMTPQ, abril 2024.

2.6 NECESIDAD DE FLOTA PARA ATENDER CIRCUITOS DEL CORREDOR CENTRAL TROLEBUS

Con base en lo indicado por la Gerencia de Operaciones, actualmente, el Circuito 1 tiene un déficit de flota para atender la demanda y para ello se necesitan 47 unidades articuladas con el fin de prestar un servicio de calidad a los usuarios, como se indica en la siguiente tabla. Sin embargo; a la fecha no se cuenta con un recaudo centralizado para obtener datos de la demanda máxima; por hora/por parada/por sentido, así como los orígenes y destinos de los viajes, con lo cual se pueda tener una programación de los circuitos acertada. La EPMTPQ indicó que se viene trabajando en la implementación de un Sistema Inteligente de Transporte.

TABLA 8: Flota necesaria para atender los diferentes circuitos en hora pico am

Circuito	Recorrido	km (ida y vuelta)	Categoría	Tipo de bus	Unidades
C1	Estación Labrador - Estación El Recreo	25.5	Trolebuses	Nuevos troles 100% eléctricos[14]	47
C2	Estación Labrador - Estación Morán Valverde	35.4	Articulado	MB O500	14
C4	Terminal Quitumbe - Parada Colón	29.6	Biarticulado	Volvo B340M	18
C6	Terminal Quitumbe - Estación El Recreo	14.7	Biarticulado	Volvo B340M	6
				Total	**85**

Fuente: Área Operaciones de la EPMTPQ, febrero 2024.

3 REEMPLAZO DE TROLEBUSES POR LA EPMTPQ

Para reemplazar los trolebuses existentes, la EPMTPQ inició una licitación para 50 nuevos trolebuses. Los pliegos de licitación (UNOPS, 2024) incluyen la especificación técnica de los trolebuses en la Sección II. La parte de estas especificaciones que se relaciona con el suministro de energía a los trolebuses y sus baterías internas se analiza a continuación.

3.1 LA POTENCIA DE LOS TROLEBUSES

La especificación de los trolebuses (UNOPS, 2024, Sección 2, no. 2) no detalla explícitamente la potencia del trolebús. En cambio, se especifica que los trolebuses deberán poder cumplir determinados requisitos funcionales. Entre ellos se incluye que el trolebús debe superar pendientes de al menos 15% a plena carga (peso de la unidad + número máximo de pasajeros), en condiciones normales de funcionamiento.

Para el caso que los autobuses estén conectados a las catenarias, la especificación exige que los trolebuses prioricen la toma de energía de las catenarias antes que el uso de las baterías internas. Sin embargo, en casos extremos se puede utilizar una combinación de catenarias y baterías. La especificación no detalla en profundidad los casos o situaciones extremas en las que las baterías pueden suministrar energía. En consecuencia, la especificación no detalla una corriente/potencia máxima que se puede tomar de las catenarias ni las condiciones (por ejemplo, sobre voltaje) en las que las baterías pueden o deberán usarse. Alternativamente, EPMTPQ espera que los proveedores propongan una configuración y control optimizado, dentro de las condiciones locales y considerando las características de las catenarias y subestaciones de tracción actuales.

[14] 50 trolebuses en proceso de licitación pública internacional, 47 para operación y 3 de reserva.

Una consecuencia del enfoque aplicado es que hasta que no se complete la selección de los nuevos trolebuses, se desconoce cuál será el perfil de potencia que las subestaciones de tracción y las catenarias podrán proporcionar. Esto impacta la evaluación del suministro de energía al sistema de trolebuses, incluida la posible necesidad de nuevas subestaciones de tracción (ver sección 4).

Entendemos los beneficios de utilizar la especificación "funcional" y confiar en el fabricante para optimizar su oferta dentro de las posibilidades de sus trolebuses. Sin embargo, el impacto de este enfoque es que hasta que se complete la selección de las ofertas, aún se desconoce cuál será la potencia máxima que las subestaciones de tracción y las catenarias podrán proporcionar. Esto tiene un impacto en la evaluación del suministro de energía al sistema de trolebuses (ver sección 4).

3.2 FUNCIONAMIENTO CON BATERIAS DE TRACCION

Los 50 nuevos trolebuses se especifican como trolebuses híbridos. Esto significa que los nuevos trolebuses obtienen su electricidad de las catenarias, pero también llevan a bordo una batería que, en principio, podría permitir a los trolebuses:

- *Proporcionar potencia máxima* para limitar la potencia máxima extraída de las catenarias. Esto podrá evitar sobrecargas en las subestaciones de tracción y bajas tensiones en las catenarias.
- *Almacena energía de rotura regenerativa* para su uso posterior.
- *Proporciona redundancia* para situaciones en las que las catenarias están sin energía o para situaciones en las que el voltaje en las catenarias está fuera del rango de voltaje especificado.
- *Operar parcialmente fuera de las catenarias*, por ejemplo, en zonas donde por coste u otros criterios no se han instalado catenarias.

Las especificaciones de la EPMTPQ (Sección II, n° 5) exigen que cuando el trolebús no esté conectado a las catenarias, el banco de baterías debe ser capaz de suministrar toda la energía y potencia para una autonomía mínima de 75 km en las mismas condiciones de funcionamiento que cuando está conectado a las catenarias y con capacidad máxima de pasajeros. La autonomía de 75 km se basa en un estudio realizado por encargo del municipio (C40, 2020). El informe del estudio menciona que "*La ciudad previamente ha definido 75 (km) de autonomía a baterías para los nuevos trolebuses, lo cual permitiría en modo off wire dar entre 3 vueltas (sin extensión) hasta 1.75 vueltas (con extensión), en caso de imprevistos con la catenaria. Esa autonomía parte de la necesidad de operar los trolebuses fuera del corredor por paros y otros eventos*' En el que *"extensión"* se refiere a la frase anterior: ' *Para el caso de los trolebuses, la potencial extensión del servicio entre Labrador – Carapungo implicaría una distancia fuera del cable de 20 km (ida y vuelta)."*

Se concluye que la ciudad definió los 75 km de operación autónoma con base en la redundancia requerida pero acepta que los autobuses puedan operar con baterías fuera de la catenaria, para un total de 20 km, aceptando implícitamente una reducción promedio de la redundancia de 10 km. Esto significaría que se entiende que los trolebuses podrán circular fuera de las catenarias. La sección 4.8 proporciona una posible aplicación para esto.

3.3 CARGA DE BATERIAS DE TRACCION

Las especificaciones (Sección 2, no. 5) exigen además que el banco de baterías se cargue al menos al 50% de su capacidad en un tiempo máximo de 2 horas mientras el trolebús esté operando conectado a la catenaria. Considerando una capacidad estimada de batería de 140 kWh, esto sumará al menos 35 kW a la potencia promedio extraída de las catenarias, similar a la potencia promedio que requieren los trolebuses para su funcionamiento. Por lo tanto, la potencia promedio de las catenarias puede (al menos) duplicarse cuando se cargan las baterías. La especificación no describe cómo se gestionará el

cobro. Es decir, la especificación deja abierta al proveedor la posibilidad de, por ejemplo, cargar continuamente con 35 kW o gestionar la carga basándose en la potencia requerida de los motores del trolebús o el voltaje en las catenarias. EPMTPQ espera que los proveedores propongan un esquema de control adecuado para la carga de las baterías.

Entendemos los beneficios de utilizar la especificación "funcional" para la carga de baterías y confiamos en el fabricante para optimizar su oferta dentro de las posibilidades de sus equipos. Sin embargo, el impacto de este enfoque es que hasta que se complete la selección de las ofertas, aún se desconoce cuál será la potencia máxima que las subestaciones de tracción y las catenarias podrán proporcionar. Esto tiene un impacto en la evaluación del suministro de energía al sistema de trolebuses (ver sección 4).

3.4 OBSERVACIONES A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

A continuación, se abordan observaciones sobre las especificaciones técnicas elaboradas por la EPMTPQ:

- Las especificaciones proporcionan requisitos más que todo "funcionales" y confían en que el fabricante optimice su oferta dentro de las posibilidades de su portafolio de productos. En principio, no estamos en desacuerdo con este enfoque. Sin embargo, el impacto de este enfoque es que se optimizarán las especificaciones de los 50 nuevos trolebuses, sin considerar el impacto en el sistema de suministro de energía de los trolebuses, incluidas las catenarias y las subestaciones de tracción, que solo pueden evaluarse después que las características de los trolebuses sean conocidas (ver sección 4).
- El requisito que los autobuses puedan circular de forma independiente durante 75 kilómetros en condiciones normales significa que toda la flota de trolebuses debería poder seguir funcionando durante cuatro horas. Entendemos que el objetivo principal de este requisito es proporcionar redundancia en el sistema. Sin embargo, también se entiende que el funcionamiento previsto fuera de las catenarias es aceptable durante al menos un total de 20 km, aceptando implícitamente una reducción media de la redundancia de 10 km.

4 DEMANDA DE ENERGIA

4.1 GENERALIDADES

Respecto al suministro eléctrico de los trolebuses, es necesario evaluar tres puntos:

- *Energía:* La cantidad total de energía eléctrica (en kWh) que se toma de la red de EEQ por hora, día, año. Esta energía se mide mediante contadores de kWh en cada subestación de tracción. La energía es la más importante para la facturación de la electricidad y los cálculos de eficiencia.
- *Demanda Máxima de Potencia:* El suministro momentáneo de electricidad (en kW) por parte de las subestaciones de tracción. Para cada subestación de tracción, la potencia solicitada por los trolebuses no deberá exceder las capacidades de esta subestación de tracción en cada momento.
- *Tensión en catenaria:* Para garantizar el correcto funcionamiento de los trolebuses, la tensión momentánea en el punto de conexión de los autobuses a las catenarias deberá estar dentro del rango entre 525 – 900 V (750 V DC -30%, +20%). El voltaje en la catenaria fluctúa continuamente y depende del número momentáneo de autobuses conectados a una sección de la catenaria, su demanda de energía individual y sus distancias a las subestaciones de tracción.

Las secciones siguientes proporcionan una evaluación preliminar sobre *energía, potencia* y *voltaje*. Como el suministro de energía de un sistema de trolebuses normalmente sigue los requisitos de los trolebuses,

sólo se puede completar una evaluación final cuando se conocen las características de los trolebuses (potencia del motor, funcionamiento de la batería, etc.), lo cual será solo después que los trolebuses hayan sido seleccionados (ver sección 3).

A los efectos de esta evaluación preliminar, la siguiente tabla incluye los parámetros y supuestos más importantes. Estas suposiciones se basan en la operación en el circuito C1 según lo previsto al inicio de la operación.

TABLA 9: Supuestos sobre las características del nuevo trolebús y su funcionamiento.

Características	Comentario y fuente
Número de trolebuses en funcionamiento	47 (3 de los 50 trolebuses se consideran de reserva)
Características del trolebús.	Resultará de las licitaciones que especificarán: • eficiencia energética (kWh/km) • potencia máxima (kW-pico) • Gestión de energía, incluida la descarga y carga de la batería. *Teniendo en cuenta que las ofertas aún no están abiertas, en determinados casos deberán hacerse suposiciones o posponer las estimaciones hasta después de la apertura de las ofertas.*
Ruta del trolebús	Funcionamiento actual del circuito C1, fuente: EPMTPQ
Longitud de una vuelta y rampas	Longitud y características de una vuelta en el circuito C1: 25,5 km, fuente: EPMTPQ
Disponibilidad de catenarias y suministro de energía a las catenarias	Se supone que todas las catenarias del circuito C1 (entre El Labrador y El Recreo) están abastecidas y que las ocho subestaciones de tracción existentes desde El Recreo a El Labrador están en servicio. La necesidad de una nueva subestación de tracción en El Labrador se analiza en la sección 4.6.
Calendario	Frecuencia de autobuses, cada 2 minutos, fuente: EPMTPQ
Número de vueltas por autobús por día	8, fuente: EPMTPQ
Duración de una vuelta	96 minutos, fuente: EPMTPQ

4.2 ESTUDIOS DE SIMULACIÓN DE SUMINISTRO ELECTRICO DE TROLEBUSES

Los sistemas de trolebús generalmente se diseñan mediante estudios de simulación detallados que abordan la energía, la potencia y el voltaje, en función de las características del sistema de energía del trolebús, la geografía de la ruta, las características del trolebús y las operaciones (inicios y paradas, horarios). Aunque en situaciones menos complejas serán simples cálculos de ingeniería suficientes, en situaciones más complejas es recomendable el uso de software específico. Para la EPMTPQ se recomienda dicho estudio porque los *nuevos trolebuses pueden funcionar con baterías y es necesario tomar decisiones de inversión sobre posibles nuevas subestaciones de tracción. Los estudios podrían ser realizados, por ejemplo, por empresas como Enotrag o Signon.*

El alcance del estudio de simulación se detalla en la sección 4.9, basado en las observaciones de las secciones 4.3 a 4.9.

4.3 ENERGIA

La siguiente tabla proporciona una estimación inicial de la energía requerida para operar los 47 trolebuses en el circuito C1 en hora pico y por día. Debido a que existen diferencias entre las marcas, esta estimación podrá mejorarse cuando se conozcan las características de los nuevos trolebuses.

El principal dato de la siguiente tabla es el consumo de energía de los trolebuses obtenido de varias ciudades de Suiza durante el verano. El consumo de energía en estas ciudades es muy similar y debería serlo también para los trolebuses del Circuito C1 de Quito, por las siguientes razones:

1. *Las pendientes no afectan significativamente el consumo de energía* de los trolebuses debido a la recuperación de energía de frenado. Las excepciones podrían ser obstáculos sobre la vía en los descensos los cuales no permiten la recuperación de la energía de frenado o pendientes extremadamente pronunciadas, las cuales no existen en el Corredor del Trolebús.
2. *El tráfico con paradas y arranques o las condiciones de tráfico mixto* no afectan de manera significativa el consumo de energía del trolebús debido a la recuperación de energía de frenado.
3. *Impacto limitado de los sistemas de gestión de baterías de diferentes marcas* porque la energía para el motor eléctrico se suministra en su mayoría directamente desde las catenarias y no a través de las baterías.
4. *Calefacción y aire acondicionado similares en los autobuses en los meses de verano:* Los trolebuses en Suiza en general no utilizan aire acondicionado en primavera, verano y otoño y utilizan calefacción en invierno. Todos los autobuses tienen ventanas de doble acristalamiento y, por tanto, están bien aislados. El uso de electricidad para calefacción en invierno aumenta el consumo total de electricidad en aproximadamente un 10%. Como Quito no utiliza ni calefacción ni aire acondicionado, se deduce el 10% de consumo durante los meses de invierno para alcanzar el consumo de electricidad de 1.8 kWh/km (ver Anexo 2 "consumo energía"). El uso de aire acondicionado y calefacción influye en el consumo de electricidad de los trolebuses al igual que los BEB.

El informe de la actividad 3 sobre buses eléctricos a batería (BEB) incluirá una discusión completa sobre el consumo de energía de BEB. Las razones indicadas en los numerales anteriores 1, 2 y 4 son similares para trolebuses y BEB. El impacto del numeral 3 es significativamente menor para los trolebuses que para los BEB debido uso de sus baterías internas.

Asimismo, es necesario señalar que las pérdidas de energía en las catenarias de trolebuses y las subestaciones de tracción no suelen ser insignificantes y representan entre el 10% y el 20% del consumo total de energía. Una estimación precisa de estas pérdidas requiere modelos y simulaciones detalladas del sistema eléctrico de los trolebuses y de los trolebuses (ver sección 4.2).

TABLA 10: Estimación inicial del consumo de energía Trolebús

Características	Valor	Unidad	Comentario y fuente
Número de autobuses	47		fuente: EPMTPQ
Número de vueltas por autobús por día	8		Funcionamiento actual del circuito C1, fuente: EPMTPQ
Distancia de una vuelta	25.5	km	Distancia de una vuelta en el circuito C1,

Características	Valor	Unidad	Comentario y fuente
			fuente: EPMTPQ
Duración de una vuelta	96	minutos	fuente: EPMTPQ
Consumo de electricidad	1.8	kWh/km	Para autobuses articulados, fuente: Grütter Consulting, a partir de datos de 10 operadores suizos (rango de 1.5 a 2.3 kWh/km) El consumo eléctrico promedio por km en 1997 en Quito fue de 2.0 kWh/km, fuente: (Valencia, 1998)
Distancia durante la hora pico	15.9	km	
Consumo de energía durante la hora pico para todos los autobuses	1.3	MWh	incertidumbre: 20%
Consumo total de energía por día para todos los autobuses.	17	MWh	incertidumbre: 20%

Fuente: Anexo 2, archivo de Excel

4.4 POTENCIA

La energía que se suministra a las subestaciones de tracción cambia continuamente a medida que los trolebuses arrancan y paran, y circulan cuesta arriba, nivelados y cuesta abajo. La potencia depende además de la estrategia de carga/descarga de las baterías de tracción de los trolebuses. Las especificaciones de los 50 nuevos trolebuses proporcionan requisitos funcionales (ver sección 3.1) y no proporcionan requisitos específicos para la potencia del autobús ni la estrategia específica para el uso, carga y descarga de las baterías de tracción. En consecuencia, se desconoce la curva de carga de los trolebuses. Por esta razón, la evaluación de energía en la siguiente tabla considera un enfoque basado en el uso promedio de energía durante la hora pico.

Como se indica en la siguiente tabla, en promedio durante la hora pico, la potencia de un trolebús será de 29 kW. La carga de cada subestación de tracción depende del número y funcionamiento (arranque, parada, subida, bajada) de los trolebuses que circulan por los tramos de catenaria abastecidos por las subestaciones de tracción.

Como se indica en la siguiente tabla, la carga promedio de 47 autobuses durante la hora pico es de 1,348 kW, lo que significa que la carga promedio de una subestación de tracción sería de 169 kW, que es el 12% de la capacidad instalada de una subestación de tracción. Por supuesto, esto es un promedio y la carga puede variar significativamente entre las subestaciones de tracción y con el tiempo. Sin embargo, parece poco probable que la operación de 47 nuevos trolebuses sobrecargue la subestación de tracción, especialmente considerando que se permite una sobrecarga temporal de una subestación del 200% y que los nuevos autobuses tienen una batería a bordo que puede gestionar los picos de carga (ver sección 3.1).

TABLA 11: Indicación inicial de potencia pico del sistema eléctrico Trolebús

Características	Número	Unidad	Comentario y fuente
Consumo de energía durante la hora pico	1.3	MWh	ver tabla anterior
Número de autobuses	47		fuente: EPMTPQ

Características	Número	Unidad	Comentario y fuente
Potencia media por autobús en hora punta	29	kW	calculado por fórmula: (consumo de energía*1,000/número de autobuses * 1 hora) = 1,348 kWh/47h= 28.68 kW = 29 kW
Carga media del sistema de alimentación de trolebuses.	1,348	kW	(potencia media por autobús * número de autobuses)
Capacidad instalada de una subestación de tracción.	1,450	kW	fuente: EPMTPQ
Número de subestaciones de tracción	8		Entre El Recreo y La Y (potencial nueva subestación de tracción 'El Labrador' aún no considerada (ver sección 4.6).
Carga media de la subestación de tracción.	169	kW	(Carga media del sistema de alimentación de los trolebuses / Número de subestaciones de tracción)
Carga promedio de la subestación de tracción como porcentaje de la potencia de la subestación de trolebús	12%		(Carga media de la subestación de tracción. / Capacidad instalada de una subestación de tracción.)
Al cargar baterías de trolebuses			
Tamaño estimado de la batería	140	kWh	Para operar 75 km de forma autónoma
Carga de carga promedio	35	kW	Basado en el requisito que el 50% de la capacidad de la batería se cargue en dos horas
Potencia promedio por autobús durante las horas pico de operación y carga	64	kW	Suma de Potencia media por autobús en hora punta y Carga de carga promedio
Carga media del sistema de alimentación de trolebuses.	2,993	kW	asumiendo que todos los trolebuses están cargando
Carga media de la subestación de tracción.	374	kW	
Carga promedio de la subestación de tracción como porcentaje de la potencia de la subestación de trolebús	26%		(Carga media de la subestación de tracción. / Capacidad instalada de una subestación de tracción.)

Fuente: Anexo 2, archivo de Excel

Las especificaciones (ver sección 3.1) exigen que el banco de baterías se cargue al menos al 50% de su capacidad en un tiempo máximo de 2 horas mientras el trolebús se encuentre operando conectado a la catenaria. Considerando una capacidad estimada de batería de 140 kWh, esto sumará al menos 35 kW a la potencia promedio extraída de las catenarias, similar a la potencia promedio que requieren los trolebuses para su funcionamiento. Por lo tanto, la potencia promedio de las catenarias puede (al

menos) duplicarse cuando se cargan las baterías, lo que significa que, si todos los trolebuses operan y cargan simultáneamente, la carga promedio de la subestación de tracción aumentará a 374 kW o el 26% de la Capacidad instalada de una subestación de tracción.

4.5 TENSION DE CATENARIA

En general, una condición crítica para operar adecuadamente un sistema de trolebuses es que el voltaje en las catenarias esté dentro de los límites operativos especificados para los trolebuses. Para los 50 nuevos trolebuses, la EPMTPQ especificó que el voltaje en las catenarias será superior a 525 V (750 V - 30%) e inferior a 900 V (750 V + 20%). La tensión momentánea en cada punto de las catenarias cambia continuamente. Depende de varios factores que cambian continuamente, entre ellos:

- *Número y distribución de los trolebuses a lo largo de la ruta* que depende del horario asignado
- *Carga momentánea de cada autobús* que depende de las características del autobús y del funcionamiento real del autobús (arranque, parada, conducción cuesta arriba o cuesta abajo, (des)carga de la batería, etc.).
- *Distancia momentánea de cada autobús a las subestaciones de tracción operativas más cercanas*. Cuanto mayor sea la distancia de los trolebuses a la subestación de tracción, mayor será el impacto sobre la tensión (ley de Ohm).

Para evaluar si el sistema de suministro de energía es suficiente para operar el sistema de trolebús, este debe analizarse cuidadosamente. (ver sección 4.2). Este análisis no se ha realizado para la operación de 47 nuevos trolebuses. EPMTPQ sostiene que si el número y la potencia de los nuevos trolebuses no superan el número y la potencia de los trolebuses existentes (230 kW), los autobuses deberían funcionar dentro del diseño original y el sistema de suministro de energía de los trolebuses debería ser suficiente para abastecer a 47 nuevos trolebuses. Este argumento parece sensato y respaldado por la experiencia operativa histórica.

Sin embargo, es necesario considerar una serie de puntos:

- *Cambios en la ruta del trolebús:* El sistema de trolebús ha sufrido algunos cambios desde su diseño original de los años 90s. En particular, el sistema se amplió desde la antigua Terminal Norte (o "La Y") hacia la nueva estación El Labrador, que es una extensión de la línea de aproximadamente 1 km (solo ida). Sin embargo, esta ampliación de catenaria no contó con el apoyo de una nueva subestación de tracción. Por lo anterior, EPMTPQ considera que se requiere una nueva subestación de tracción en El Labrador (ver sección 4.6).
- *Diferentes tipos de autobuses:* Los nuevos trolebuses están equipados con un sistema de batería mientras que los antiguos trolebuses llevaban un motor diésel a bordo. En teoría, la batería ofrece la posibilidad de distribuir mejor el consumo de energía. Sin embargo, en la práctica esto, por supuesto, depende del funcionamiento del trolebús (batería), que debería conocerse después de la selección del autobús. Además, en el caso que sea necesario cargar las baterías, se debe considerar la toma adicional de las catenarias.

Considerando que se desconocen las características del trolebús, se evalúa un "*escenario optimista*" y un "*escenario pesimista*". En el *escenario optimista*, los trolebuses utilizarán sus baterías para alimentar sus motores en caso de altas demandas de potencia y si la tensión de la catenaria es baja. De esta manera, la energía tomada de las catenarias por los trolebuses será limitada, especialmente en situaciones que son críticas para el sistema de suministro de energía de los trolebuses. Además, en caso en que el voltaje en

la catenaria esté fuera del rango en el que puede operar los trolebuses, éstos podrán funcionar completamente con sus baterías. Por tanto, las desviaciones en la tensión de la catenaria tendrán un impacto muy limitado en el funcionamiento de los trolebuses. En este escenario, no son necesarias las inversiones en nuevas subestaciones de tracción en El Labrador y Quitumbe.

En *el escenario pesimista*, los trolebuses sólo utilizan sus baterías para su funcionamiento en caso de imprevistos fuera de las catenarias. Por lo tanto, las baterías internas no se utilizan durante la operación normal. En esta situación, la carga máxima de los trolebuses puede ser grande y, en consecuencia, la tensión en las catenarias será volátil. Suponiendo que la potencia máxima extraída de las catenarias no excederá la potencia máxima de los autobuses existentes (230 kW) y que los autobuses operarán entre El Recreo y El Labrador de forma similar a lo previsto en los años 90, el diseño original de la red eléctrica, el suministro de trolebuses seguirá vigente. Teniendo en cuenta que después el diseño original el sistema de trolebuses se extiende a El Labrador, es posible que sea necesario soportar el voltaje, por ejemplo, mediante una nueva subestación de tracción en El Labrador (ver sección 4.6). Además, es posible que sea necesario reconstruir la subestación de tracción en Quitumbe para restaurar el diseño original si la operación del trolebús también se utilizará entre Quitumbe y El Recreo (ver sección 4.8).

Para confirmar la necesidad de inversiones en infraestructura de tracción, se recomienda modelar y simular en detalle el sistema de trolebuses (ver sección 4.2) después de conocer las características de los trolebuses.

4.6 NECESIDAD DE SUBESTACION DE TRACCION EL LABRADOR

Como se analizó en el apartado anterior, EPMTPQ considera que se requiere una nueva subestación de tracción en El Labrador para restaurar el diseño original con subestaciones de tracción en las terminales del sistema de trolebuses. La razón técnica sería que el voltaje en las catenarias podría salirse del rango de voltaje de 750 Vcc +20%, -30% si los trolebuses requieren mucha energía en estos terminales.

Este argumento se ve respaldado por el diseño típico del sistema eléctrico de trolebuses con una alimentación cerca de sus terminales. Sin embargo, sin conocer las características de los nuevos trolebuses no es posible concluir que el sistema eléctrico actual no será suficiente. Esto depende de las características del autobús, el uso de su batería en, por ejemplo, eventos extremos, el comportamiento de carga y el horario del autobús. *Por ello, considerando que la inversión en una nueva subestación de tracción es de aproximadamente 1 millón de dólares y requiere una nueva conexión a la red, se recomienda realizar dicho estudio antes de tomar la decisión de inversión.*

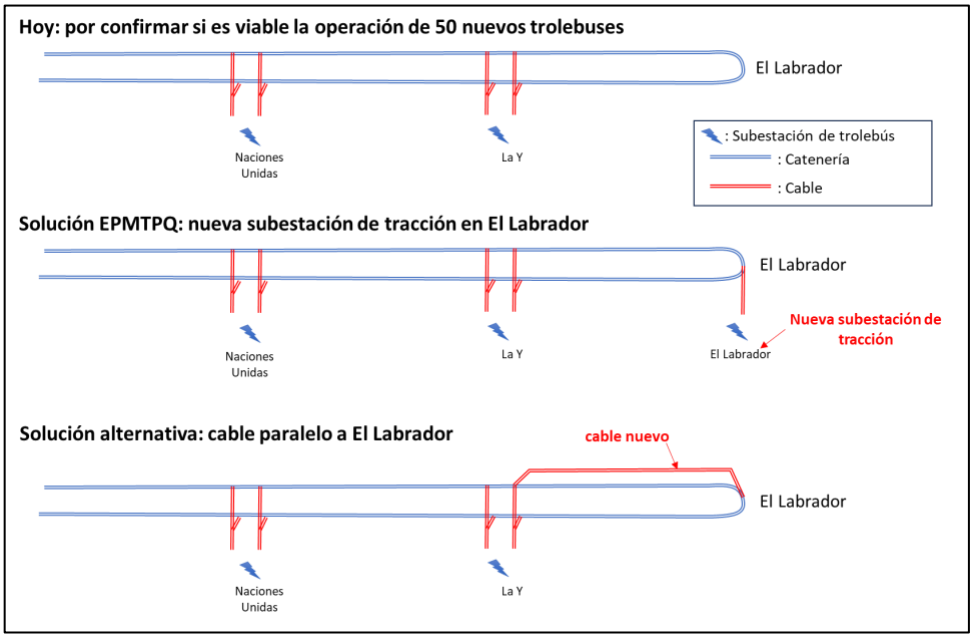
Solución alternativa a una nueva subestación El Labrador

En general, un enfoque alternativo para mitigar los problemas de voltaje en los sistemas de trolebuses es la instalación de cables paralelos a las catenarias de trolebuses existentes. Una subestación de tracción existente podría suministrar energía a estos cables que posteriormente se alimentarán a las catenarias.

La EPMTPQ tiene instalado un cable de acompañamiento desde la subestación La Y hasta el intercambiador El Labrador justamente para evitar la caída de tensión en la estación El Labrador (al igual en el sector Quitumbe). Esta solución reduce las desviaciones de tensión de forma menos costosa que instalar una nueva subestación de tracción. Aplicar más cables en paralelo o tener una sección transversal mayor incluso tiene un efecto mayor. Por lo tanto, *si se concluye que es necesario soportar el voltaje en El Labrador, se recomienda también evaluar soluciones menos costosas que puedan mitigar el problema, como, por ejemplo, la instalación de cables paralelos más grandes o más cables en paralelo desde, un*

ejemplo, la subestación 'La Y' que alimenta en El Labrador, como se ilustra en la siguiente figura. Los estudios de simulación, como se explica en la sección 4.2, se pueden utilizar para encontrar la sección transversal necesaria de los cables y para evaluar la protección necesaria.

FIGURA 8: Situación actual en El Labrador, la solución de EPMTPQ para un posible problema de voltaje y una solución alternativa que utiliza un cable paralelo.



Fuente: Grütter Consulting AG

4.7 FUNCIONAMIENTO CON BATERIAS DE TROLEBUSES

La especificación del trolebús (ver sección 3.1) exige baterías para circular de forma autónoma durante un mínimo de 75 km en las mismas condiciones de funcionamiento que cuando está conectado a las catenarias y con la capacidad máxima de pasajeros. Los 75 kilómetros se basan en un estudio por encargo del municipio de Quito (C40, 2020) que indica que se requieren 75 kilómetros de conducción autónoma para atender huelgas y otros imprevistos. Las baterías serán suficientes para suministrar energía a los trolebuses durante casi tres vueltas o cuatro horas de funcionamiento continuo en la C1.

El mismo apartado del estudio por parte del municipio de Quito (C40, 2020) considera el escenario que las baterías de trolebuses puedan utilizarse para operación programada fuera de las catenarias por 20 km[15]. En este caso, la redundancia se reducirá porque el estado de carga (SoC) de las baterías disminuirá cuando funcionen fuera de las catenarias y solo aumentará gradualmente durante la carga si se conectan nuevamente a las catenarias. En consecuencia, esto reducirá el SoC promedio a aproximadamente 65 km o 3.5 horas de funcionamiento autónomo. Por lo tanto, incluso con un recorrido de 20 km fuera de

[15] (C40, 2020) analiza una posible extensión desde El Labrador hasta Carapungo (20 km). Según la EPMTPQ esta posible extensión ya no se discute.

las catenarias, el funcionamiento del trolebús podría continuar si se interrumpe el suministro eléctrico a todas las subestaciones de tracción durante 3.5 horas.

4.8 ALTERNATIVA DE TROLEBUSES ENTRE QUITUMBE Y EL RECREO

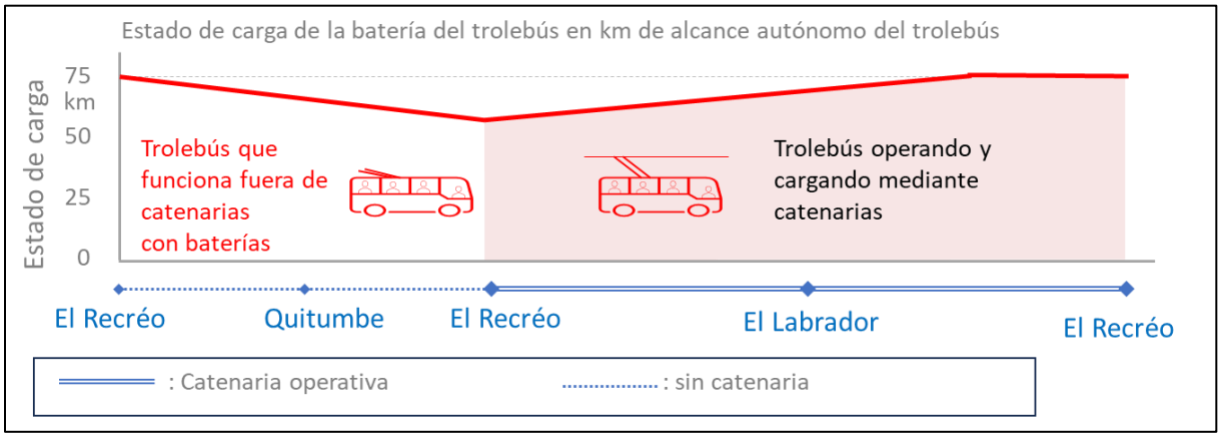
Los 50 nuevos trolebuses están previstos para operar inicialmente en el circuito C1 (El Recreo a El Labrador), que es la parte del sistema de trolebuses que se encuentra actualmente en funcionamiento. EPMTPQ considera que el número de pasajeros en el circuito C1 puede reducirse debido a la nueva línea paralela del metro. Por ello, la EPMTPQ considera que en el futuro (parte de) los nuevos trolebuses también podrán circular entre Quitumbe y El Recreo. Este tramo está equipado con un sistema de trolebús que no está en uso desde 2018.

En la sección 5.2 se analizan los refuerzos necesarios para volver a poner en funcionamiento este tramo. Estos incluyen la reparación de las subestaciones de tracción Solanda y El Recreo, la modernización de tres subestaciones de tracción, el reordenamiento de las catenarias en la terminal de Quitumbe y potencialmente la necesidad de reconstruir la subestación de tracción Quitumbe, lo que puede costar en total 2 millones de dólares aproximadamente.

Alternativamente, la EPMTPQ podrá considerar retirar el sistema de suministro de energía de los trolebuses entre Quitumbe y El Recreo y operar el viaje de ida y vuelta de 14.7 km desde El Recreo a Quitumbe y de regreso a El Recreo con las baterías internas de los trolebuses. Como se muestra en la Figura siguiente, las baterías del trolebús se descargarán entre El Recreo y Quitumbe y se cargarán nuevamente entre El Recreo y El Labrador. Respectivamente,

- Se reducirá la redundancia proporcionada por la batería. Por lo tanto, en lugar de un funcionamiento autónomo de 75 kilómetros, los autobuses ahora podrán circular entre 60 y 75 kilómetros si se interrumpe el suministro eléctrico, lo que supone una reducción media de alrededor del 10%.
- Debido a que es necesario cargar las baterías entre El Recreo y El Labrador, se aumenta la carga del sistema de alimentación del trolebús. Si la carga de la batería se realiza correctamente y tiene en cuenta, por ejemplo, la tensión en las catenarias, esto no provocará problemas. Sin embargo, esto debe confirmarse mediante análisis cuando se conozcan las especificaciones de los trolebuses (ver sección 4.2).

FIGURA 9: Operación alternativa con operación autónoma entre Quitumbe y El Recreo (sin catenarias)



Fuente: Grütter Consulting AG

4.9 RECOMENDACIONES

Una vez conocidas las características detalladas de los trolebuses, se recomienda realizar un estudio de simulación detallado (ver sección 4.2), con los siguientes objetivos:

- Para operación del circuito C1:
  - Confirmación que el voltaje en las catenarias estará dentro del rango requerido para el funcionamiento de los trolebuses y la carga de las subestaciones de tracción está dentro de sus límites, incluso cuando se cargan las baterías de los trolebuses.
  - Evaluar la necesidad de una nueva alimentación en El Labrador y, de ser así, evaluar soluciones alternativas para una nueva subestación de tracción en El Labrador, como ejemplo, un cable paralelo suministrado por una subestación de trolebús existente, que alimente la catenaria en El Labrador (ver sección 4.6).
- Para operación de Quitumbe a El Recreo:
  - Evaluar la necesidad de una nueva subestación de tracción Quitumbe o una solución alternativa.
  - Evaluar la posibilidad de operar el tramo Quitumbe a El Recreo de forma autónoma con las baterías de los trolebuses en lugar de utilizar el suministro eléctrico de las catenarias.

5 SISTEMA DE ALIMENTACION PARA LA INFRAESCTRUTURA DE CARGA

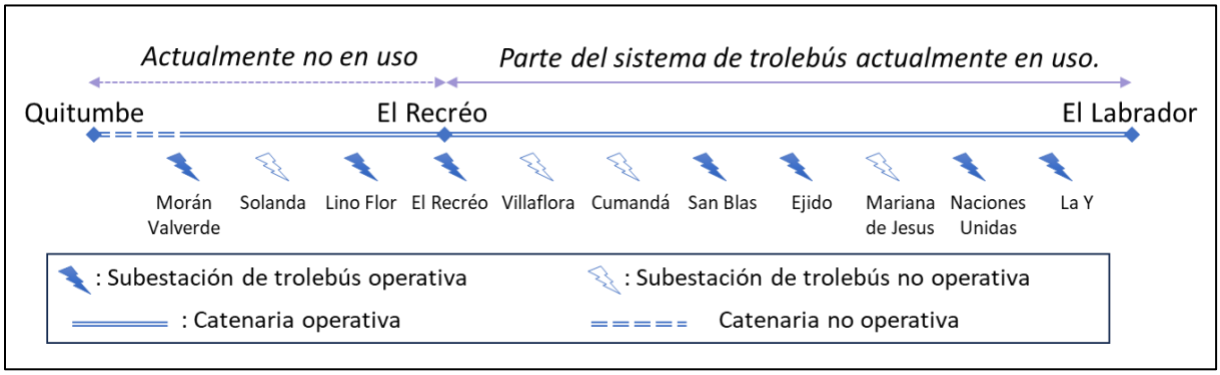
5.1 DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA DE SUMINISTRO ELECTRICO DE TROLEBUSES EN QUITO

Este capítulo analiza el sistema existente que suministra energía a los Trolebuses, el cual consta de tres componentes:

- *Las catenarias* suministran energía a los trolebuses a través de dos líneas aéreas. Las catenarias se dividen en tramos que normalmente son alimentados desde ambos lados por una subestación de tracción.
- *Subestaciones de tracción* suministran electricidad a las catenarias a 750 V CC (Corriente Continua). En las subestaciones de tracción, la electricidad procedente de la red se transforma de 6.3 kV o 22.8 kV CA (Corriente Alterna) a 750 V CC.
- *El sistema eléctrico público* suministra electricidad a las subestaciones de tracción con un nivel de tensión de 6.3 kV o 22.8 kV CA.

El sistema de trolebuses en Quito consta de una línea desde Quitumbe vía El Recreo hasta El Labrador, de la cual actualmente solo está en operación la parte de El Recreo a El Labrador. La siguiente figura muestra la línea y las subestaciones de tracción que suministran energía a las catenarias de trolebuses a lo largo de la línea de trolebuses. La distancia típica entre las subestaciones de tracción es de 1 a 2.5 km.

FIGURA 10: Descripción general del sistema de trolebuses y subestaciones de tracción



Fuente: Grütter Consulting con base en información EPMTPQ

A diferencia del diseño original de 1995, no hay subestaciones de tracción en ambos extremos de la línea. Las razones de esto son que:

- *En Quitumbe* la subestación de tracción original fue destruida en el año 2009 y no está siendo reconstruida.
- La línea de trolebús se amplió desde la anterior *Terminal Norte (La Y)* hasta *El Labrador*. Tras la prórroga, la subestación de tracción *La Y* ya no estaba al final de la línea. Nunca se ha construido una subestación de tracción en El Labrador.

Las secciones siguientes analizan tanto las subestaciones de tracción (sección 5.2) como las catenarias (sección 5.3).

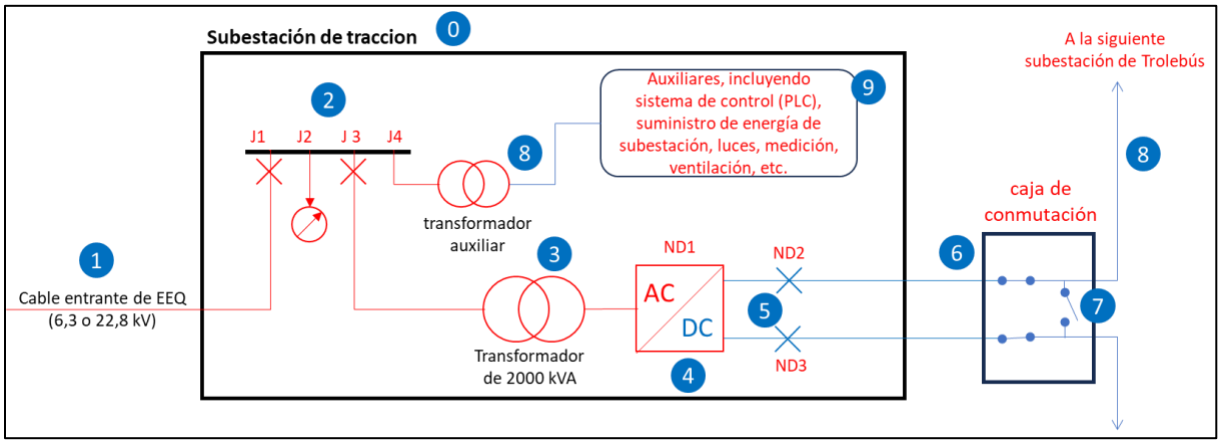
5.2 SUBESTACIONES DE TRACCIÓN

5.2.1 INTRODUCCIÓN A LA SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN

La siguiente figura muestra la configuración de alto nivel de todas las subestaciones de tracción. Las subestaciones de tracción se alimentan de la red de EEQ en 6.3 o 22.8 kV a través de un cable entrante (1). Una instalación de conmutación de CA (2) protege el sistema y distribuye la energía al transformador de potencia principal y a los auxiliares. El transformador de potencia de 2000 kVA (3) transforma los voltajes de CA a 596 V, que es la entrada al convertidor CA/CC de 1450 kW (4). La salida del convertidor AC/DC es de 750 V DC que se distribuye a dos alimentadores DC (5), ambos protegidos por un disyuntor DC muy rápido. A través de cajas de conmutación (6), cada uno de los alimentadores de corriente continua alimenta las catenarias, una en dirección norte y otra en dirección sur. Los alimentadores en dirección norte y sur se pueden conectar a través de un interruptor (7) lo cual se realiza si la subestación de tracción de alimentación no está en funcionamiento. Sin embargo, en circunstancias normales cada tramo de las catenarias es alimentado por ambos extremos mediante una subestación de tracción (8).

Un transformador auxiliar (9) proporciona energía a todos los sistemas que se requieren para mantener operativa la subestación, incluido el sistema de control (PLC), control de los interruptores, energía para los dispositivos de protección, medición, luces, ventilación, etc.

FIGURA 11: Descripción general del sistema de trolebuses y subestación de tracción



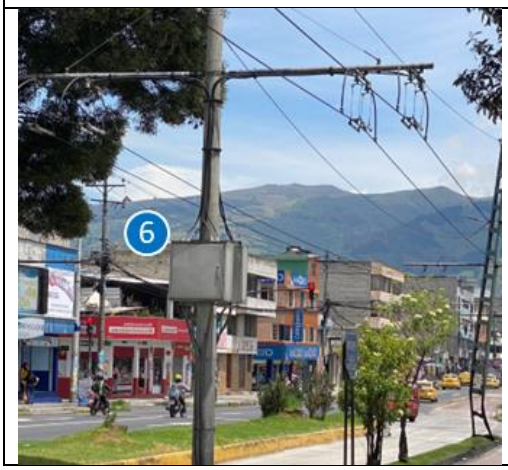
Fuente: Grütter Consulting con base en información EPMTPQ

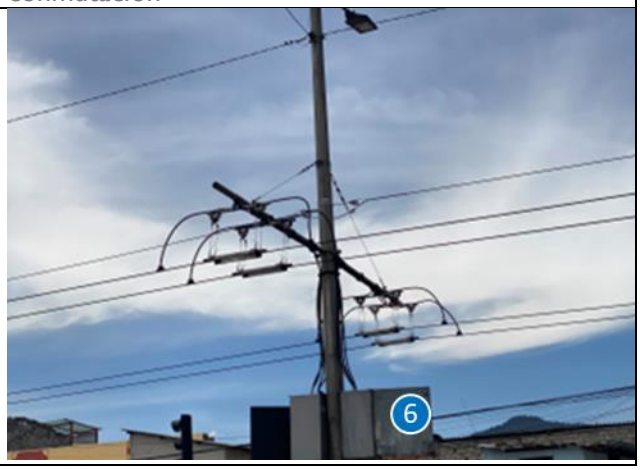
FIGURA 12: Ilustraciones del sistema de trolebuses y subestaciones de tracción

FOTO 1: Subestación de tracción	FOTO 2: Cable entrante de EEQ
FOTO 3: Celda J1-J4 CA 6.3 kV	FOTO 4: Transformador de potencia de 2000 kVA
FOTO 5: Convertidor CA/CC de 1450 kW	FOTO 6: Sala DC y Auxiliares
FOTO 7: Alimentadores de CC y disyuntor de CC (derecha)	FOTO 8: Caja de conmutación

FOTO 9: Catenaria y caja de conmutación.

FOTO 10: Conexión a catenaria desde caja de conmutación





Fuente: Grütter Consulting AG

EPMTPQ opera dos tipos de subestaciones de tracción:

- Primera Etapa (1995): Ocho subestaciones de tracción, conectadas a la red de EEQ en 6.3 kV. Todas estas subestaciones de tracción cuentan con dos salas: CA + CC + sala de auxiliares y sala de Transformación.
- Segunda Etapa (1999): Tres subestaciones de tracción, conectadas a la red de EEQ en 22.8 kV. Todas estas subestaciones de tracción cuentan con tres salas: sala de CA, sala de transformación y sala de CC + auxiliares.

5.2.2 ACONDICIONAMIENTO DE SUBESTACION DE TRACCION Y ACTUACIONES DE CORTO PLAZO

EPMTPQ posee once subestaciones de tracción de las cuales cinco se encuentran actualmente en operación, dos son posibles de operar y cuatro están fuera de servicio. La siguiente tabla proporciona cada una de las acciones necesarias para que las subestaciones de tracción vuelvan a estar operativas o para prevenir problemas que harían que las subestaciones no estuvieran disponibles. La EPMTPQ ha iniciado el proceso de adquisición de los servicios para estas acciones de corto plazo, que se pretende completar en 2024. EPMTPQ ha presupuestado el costo total de estas acciones de corto plazo en 280,000 dólares USD en total, lo que parece una evaluación razonable. Se señala que la reparación de las subestaciones entre Villaflora, Cumandá, San Blas, Ejido, Mariana de Jesús y La Y deberá estar terminada antes de la llegada de los 50 nuevos Trolebuses. La reparación de Solanda y El Recreo deberá concluir antes de la entrada en operación de los nuevos Trolebuses entre Quitumbe y El Recreo.

TABLA 12: Descripción general de las subestaciones (consulte el apéndice para obtener más detalles)

Subestación de tracción	Características	Acciones requeridas *a corto plazo*
Morán Valverde	Listo para operar	- ninguno
Solanda	Fuera de servicio	- Las celdas entrantes J1 y J2 de 22.8 kV serán reemplazadas.
Lino Flor	Listo para operar	- ninguno
El Recreo	En funcionamiento	- El interruptor de CC en ND2 no está operativo y debe reemplazarse si se vuelve a utilizar la sección de Lino Flor.
Villaflora	Fuera de servicio	- Reposición de cables robados y reparación de daños.
Cumandá	Fuera de servicio	- Reposición de cables robados y reparación de daños. - Reparación de fugas en transformadores.
San Blas	En funcionamiento	- Interruptor extrarrápido será reemplazado antes de fin de año
Ejido	En funcionamiento	- Reparación del sistema de comunicaciones entre el PLC y el HMI.
Mariana de Jesús	Fuera de servicio	- Reparación de fugas en transformadores. - Reparación del sistema de control de las celdas L3, ND1 y los carros feeder
Naciones Unidas	En funcionamiento	- ninguno
La Y (Terminal Norte)	En funcionamiento	- Reparación de fugas en transformadores.

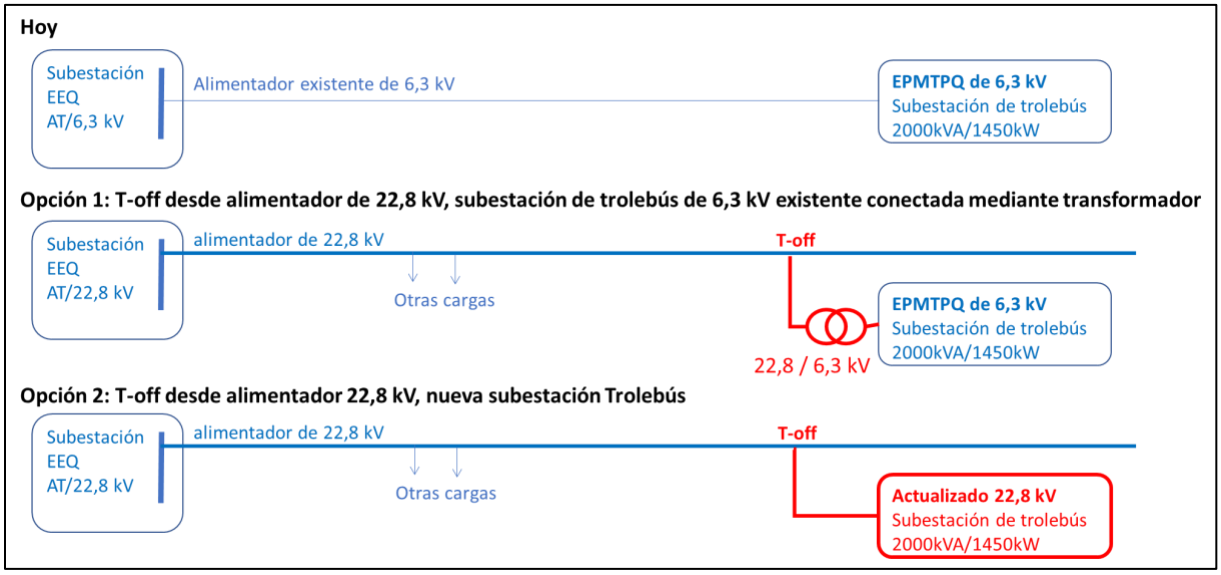
5.2.3 ACTUALIZACION DE MEDIANA VIDA DE LAS SUBESTACIONES DE TRACCIÓN

Las subestaciones de tracción de la primera etapa cumplen 29 años de funcionamiento. Las subestaciones de tracción de la segunda etapa han sido instaladas hace 25 años, pero solo estuvieron operativas aproximadamente 20 años debido a que Quitumbe – El Recreo no operaba con Trolebuses desde 2018. En consecuencia, gran parte de los equipos en las subestaciones de tracción de la primera etapa acumulan 29 años, lo que significa que algunos equipos están al final de su vida útil. Considerando que los nuevos Trolebuses estarán en operación durante los próximos 20 a 25 años, las subestaciones requieren una actualización de 'mediana vida' en los próximos años, que será prioritaria para las subestaciones de tracción de la primera etapa, pero también requerida para las subestaciones de tracción de la Segunda etapa si los nuevos trolebuses operarán en esta línea. Esta actualización incluye el reemplazo de dispositivos de protección, PLC, medidor, redes de puesta a tierra, bancos de baterías y sus cargadores. Además, EPMTPQ pretende modernizar las subestaciones de tracción introduciendo instalaciones de monitorización remota (SCADA) y medidas adicionales de protección de seguridad, como la instalación de cámaras. *Se considera que en los próximos años se completará una actualización de mediana edad de las subestaciones para evitar interrupciones. Se priorizarán las subestaciones de tracción de la primera fase, pero si el tramo Quitumbe – El Recreo también se utilizará para la operación de trolebuses, las subestaciones de tracción de la segunda fase también requerirán una actualización de mediana edad.*

5.2.4 CAMBIO DE TENSION DE CONEXIÓN DE 6.3 KV A 22.8 KV

La red de distribución de electricidad en Quito funciona en parte con 6.3 kV y en parte con 22.8 kV. EEQ indicó que el nivel de voltaje cambiará gradualmente a 22.8 kV, lo que significa que las subestaciones de tracción que ahora están conectadas a 6.3 kV, podrán conectarse a 22.8 kV en el futuro. Este cambio tomará muchos años y sigue el cronograma de EEQ para el reemplazo de transformadores de alta potencia en las subestaciones de EEQ. En consecuencia, en 2025 EEQ planea cambiar el voltaje de conexión de la subestación de tracción Mariana de Jesús de 6.3 kV a 22.8 kV (EEQ, 2024). La siguiente figura muestra la conexión existente a 6.3 kV y dos opciones para conectarse al nuevo sistema de 22.8 kV en el futuro. Ambas opciones no aplican una conexión dedicada a una subestación de alto voltaje, sino que se conectan al nuevo alimentador de 22.8 kV cercano. En consecuencia, EEQ proporcionará la conexión de 22.8 kV a la subestación de tracción en la que, en la opción 1, se debe instalar un transformador de 22.8 a 6.3 kV o, en la opción 2, la subestación de tracción debe actualizarse a 22.8 kV. Considerando el espacio disponible en la subestación de tracción en Mariana de Jesús parece factible instalar un transformador de 22.8 kV a 6.3 kV frente a la subestación de tracción. Se recomienda instalar este transformador junto con las actividades de reparación requeridas que permitirían volver a operar esta subestación de tracción.

FIGURA 13: Conexión actual de la subestación de tracción Mariana de Jesús y dos opciones de conexión a 22.8 kV



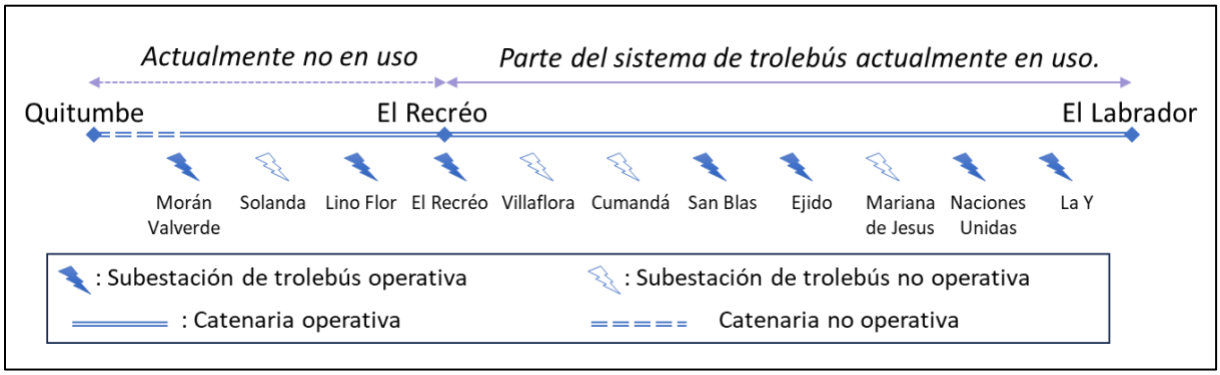
Fuente: Grütter Consulting AG

EEQ informó que dentro de los próximos cinco años no habrá cambios en el voltaje de conexión de otras subestaciones de tracción.

5.3 CATENARIAS

Toda la línea de trolebuses de la EPMTPQ está equipada con catenarias. Sin embargo, sólo está operativo el tramo entre El Recreo y El Labrador. También se encuentra en obra y -según EPMTPQ- se puede energizar el tramo entre Morán Valverde y El Recreo, lo que ha sido probado recientemente para el tramo entre Lino Flor y El Recreo.

FIGURA 14: Descripción general del sistema de trolebuses y catenarias



Fuente: Grütter Consulting con base en información EPMTPQ

En Quitumbe las catenarias no están funcionales (ver anexo 1). Además, la situación local en la estación Quitumbe requiere un desvío de los trolebuses lo que requiere un cambio en la infraestructura de catenaria existente en la estación Quitumbe.

Las líneas de catenarias se desgastan continuamente si las utilizan los trolebuses y, en consecuencia, es necesario reemplazarlas periódicamente. Para 2024, el presupuesto de la EPMTPQ incluye US$150,000 para el reemplazo de líneas aéreas de contacto. Además, se dispone de un presupuesto adicional de US$ 6,000 para postes de iluminación y catenarias.

6 NECESIDADES DE ACTUALIZACION DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

Los 50 nuevos trolebuses necesitan un suministro eléctrico fiable durante su vida útil prevista de aproximadamente 25 años. Esto requiere una serie de actividades que pueden priorizarse en el tiempo como se indica en la siguiente tabla:

TABLA 13: Pasos propuestos para el sistema eléctrico de Trolebús

Cuando	Ubicación	Acciones requeridas
En cuanto se conozcan las especificaciones de los nuevos Trolebuses	**El Recreo a El Labrador**	- Estudio de simulación para confirmar si la operación de 47 Trolebuses en el circuito C1 no resultará en sobrecarga de las subestaciones de tracción existentes o en operación fuera del rango de tensión de 750 Vdc +20%, -30% en las catenarias (ver secciones 4.2, 4.4 y 4.5). Si esto no se puede confirmar, el estudio debería confirmar la necesidad de una nueva subestación de tracción en El Labrador u otras medidas alternativas (sección 4.6).
	Quitumbe a El Recreo	- Estudio de simulación para confirmar que las subestaciones de tracción y catenarias serán suficientes para soportar la operación entre Quitumbe y El Recreo. Si esto no se puede confirmar, el estudio debería confirmar la necesidad de una nueva subestación de tracción en Quitumbe u otras medidas alternativas. - Estudio de simulación para investigar la solución alternativa para operar entre Quitumbe y El Recreo únicamente con baterías de trolebuses, que permita retirar el sistema eléctrico de trolebuses entre Quitumbe y El Recreo. - Decisión de mantener el sistema de abastecimiento de trolebuses entre Quitumbe y El Recreo.
Antes de la llegada de los 50 nuevos trolebuses (finales de 2024)	**Subestación de tracción Villaflora**	- Reposición de cables robados y reparación de daños.
	Subestación de tracción Cumandá	- Reposición de cables robados y reparación de daños. - Reparación de fugas en transformadores.
	Subestación de tracción San Blas	- Reemplace el interruptor extrarrápido.
	Subestación de tracción Ejido	- Reparación del sistema de comunicaciones entre el PLC y el HMI..

Cuando	Ubicación	Acciones requeridas
	Subestación de tracción Mariana de Jesús	- Reparación del sistema de control de las celdas L3, ND1 y los carros feeder. - Prepararse para el cambio de voltaje entrante de 6.3 kV a 22.8 kV instalando un transformador de 22.8/6.3 kV junto a la subestación de tracción. - Reparación de fugas en transformadores.
	Subestación de tracción La Y	- Reparación de fugas en transformadores.
	Catenarias	- Reemplazo de cable de catenaria desgastado. - Reparación de postes de alumbrado y cable de catenaria.
Antes que los trolebuses hagan uso de catenarias entre Quitumbe y El Recreo *(si se decide mantener el sistema de suministro de trolebuses entre Quitumbe y El Recreo)*	**Subestación de tracción Solanda**	- Las celdas entrantes J1 y J2 de 22.8 kV serán reemplazadas.
	Subestación de tracción Lino Flor	- Reparación de fugas en transformadores.
	Subestación de tracción El Recreo	- Revisión de la celda ND2.
	Quitumbe	- Evaluación de la necesidad de reforzar el suministro eléctrico de Trolebús en Quitumbe y de ser necesario instalar las medidas necesarias (ver sección 4.8)
	Catenarias	- Restaurar las Catenarias en el terminal de Quitumbe y entre Quitumbe y Morán Valverde.
En los próximos cinco años	**Todas las subestaciones de tracción.**	- Actualización de mediana edad mediante el reemplazo de equipos 'al final de su vida útil' (interruptor de CC, dispositivos de protección, PLC, medidor, bancos de baterías y sus cargadores) y modernización de la subestación (introducción de SCADA, medidas de protección de seguridad adicionales).
No dentro de cinco años y cuando lo requiera el operador de red EEQ	**Todas las subestaciones de tracción en 6.3 kV** *(excepto Mariana de Jesús que ya cambia en 2025, ver arriba).*	- Conexión de la subestación de 6.3 kV a 22.8 kV instalando un transformador de 22.8/6.3 kV junto a la subestación de tracción
A lo largo de la vida:	**Todas las subestaciones de tracción y catenarias.**	- Continuar con el mantenimiento y seguimiento adecuados de los componentes.

7 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

1. Para reemplazar los trolebuses existentes, la EPMTPQ inició una licitación para 50 nuevos trolebuses. Los 50 nuevos trolebuses están previstos para operar inicialmente en el circuito C1 (El Recreo a El Labrador), que es la parte del sistema de trolebuses que se encuentra actualmente en funcionamiento. EPMTPQ considera que el número de pasajeros en el circuito C1 puede reducirse debido a la nueva línea paralela del metro. Por ello, la EPMTPQ considera que en el futuro (parte de) los nuevos trolebuses también podrán circular entre Quitumbe y El Recreo. Este tramo está equipado con un sistema de trolebús que no está en uso desde 2018.
2. Las especificaciones de los 50 nuevos trolebuses plantean requisitos más que todo "funcionales" y confían en que el fabricante optimice su oferta dentro de las posibilidades de su cartera de productos. En principio, no se está en desacuerdo con este enfoque. Sin embargo, el impacto de este enfoque es que se optimizarán las especificaciones de los 50 nuevos trolebuses, sin considerar el impacto en el sistema de suministro de energía de los trolebuses, incluidas las catenarias y las subestaciones de tracción, que solo pueden evaluarse después que las características de los trolebuses sean conocidas.
3. Las especificaciones para los 50 nuevos trolebuses exigen que los autobuses puedan circular de forma independiente durante 75 km en condiciones normales, lo que significa que toda la flota de trolebuses debería poder seguir funcionando durante cuatro horas. Entendiendo que el objetivo principal de este requisito es proporcionar redundancia en el sistema; sin embargo, también se entiende que el funcionamiento previsto fuera de las catenarias es aceptable durante al menos un total de 20 km, aceptando implícitamente una reducción media de la redundancia de 10 km. Esto permitiría utilizar los trolebuses del tramo Quitumbe – El Recreo con un funcionamiento de baterías, sin necesidad de operar el sistema eléctrico de trolebuses en este tramo. Si se considera técnicamente factible (ver más abajo), esto podría permitir eliminar esta parte del sistema de trolebús.
4. EPMTPQ posee once subestaciones de tracción de las cuales cinco se encuentran actualmente en operación, dos son posibles de operar y cuatro están fuera de servicio. Además, hay que realizar algunos trabajos de mantenimiento en otras cuatro subestaciones de tracción. La reparación de las subestaciones Villaflora, Cumandá, San Blas, Ejido, Mariana de Jesús y La Y deberá concluir antes de la llegada de los 50 nuevos Trolebuses (2025). La reparación de Solanda y El Recreo deberá concluir antes que operen los nuevos Trolebuses entre Quitumbe y El Recreo, lo cual podrá decidirse en el futuro. EPMTPQ ha iniciado el proceso de contratación de los servicios para estas acciones de corto plazo, que se pretende culminar en 2024.
5. Teniendo en cuenta que las subestaciones de tracción existentes han estado operando durante 20 o 29 años y que los nuevos trolebuses estarán en funcionamiento durante los próximos 20 a 25 años, las subestaciones requieren una actualización de "mediana vida" en los próximos años. Esta actualización incluirá el reemplazo de dispositivos de protección, PLC, medidor, redes de puesta a tierra, interruptores extra rápidos de CC y a los cargadores y bancos de batería. Además, es necesario modernizar las subestaciones de tracción mediante la introducción de instalaciones de monitorización remota (SCADA) y medidas de protección de seguridad adicionales, como la instalación de cámaras. Se priorizarán las subestaciones de tracción de la primera fase, pero para el caso que el tramo Quitumbe – El Recreo también se utilice para la operación de trolebuses, las subestaciones de tracción de la segunda fase también requerirían de una actualización de mediana edad.

6. EEQ planea cambiar el voltaje de conexión de la subestación de tracción Mariana de Jesús de 6.3 kV a 22.8 kV, muy probablemente en 2025 (EEQ, 2024). La solución preferida es instalar un transformador de 22.8 kV a 6.3 kV frente a la subestación de tracción que se conectará a la nueva conexión de 22.8 kV que ofrece EEQ. Se recomienda instalar este transformador junto con las actividades de reparación requeridas que permitirían volver a operar esta subestación de tracción, las cuales están previstas para el año 2024. La EPMTPQ debe coordinar con la EEQ la instalación de dicho transformador en esta estación. Para otras subestaciones, EEQ no planea un cambio a 22.8 kV dentro de los próximos cinco años.
7. Una estimación inicial confirma que la capacidad instalada de las subestaciones de tracción debería ser suficiente para suministrar la máxima potencia a los nuevos trolebuses del circuito C1. Sin embargo, sin conocer las características de los 50 nuevos trolebuses no se puede afirmar que la tensión en las catenarias esté dentro de los límites operativos requeridos. En el escenario optimista, las subestaciones de tracción existentes serían suficientes para garantizar un nivel de tensión adecuado. En ese escenario, la reparación y la actualización de mediana edad de las subestaciones de tracción existentes será suficiente y no se requerirán inversiones en nuevas subestaciones de tracción. Sin embargo, en el escenario pesimista, se requerirá una nueva subestación de tracción en El Labrador y si se utilizará la operación del Corredor Trolebús entre Quitumbe y El Recreo, se requerirá una nueva subestación en Quitumbe. Para mitigar los riesgos de i) suministro de energía insuficiente y ii) sobreinversión en subestaciones de tracción, se recomienda realizar un estudio de simulación como se analiza en el siguiente punto. Este estudio deberá completarse, lo antes posible, una vez se conozcan las especificaciones detalladas de los nuevos trolebuses y considerando que la llegada de éstos está prevista para 2025.
8. Los sistemas de trolebús generalmente se diseñan mediante estudios detallados que abordan la energía, la potencia y el voltaje, en función de las características del sistema de energía del trolebús, la geografía de la ruta, las características del trolebús y las operaciones (inicios y paradas, horario). Se recomienda el uso de software específico. Una vez conocidas las características detalladas de los trolebuses, se recomienda realizar un estudio detallado, con los siguientes objetivos:
    a. Para operación del circuito C1:
        i. Confirmación que el voltaje en las catenarias estará dentro del rango requerido para el funcionamiento de los trolebuses/la carga de las subestaciones de tracción está dentro de sus límites, incluso cuando se cargan las baterías de los trolebuses.
        ii. Evaluar la necesidad de una nueva alimentación en El Labrador y, de ser así, evaluar soluciones alternativas para una nueva subestación de tracción en El Labrador, como, por ejemplo, un cable paralelo suministrado por una subestación de trolebús existente, que alimente la catenaria en El Labrador.
    b. Para operación de Quitumbe a El Recreo:
        i. Evaluar la necesidad de una nueva subestación de tracción Quitumbe o una solución alternativa.
        ii. Evaluar la posibilidad de operar el tramo Quitumbe a El Recreo de forma autónoma con las baterías de los trolebuses en lugar de utilizar el suministro eléctrico de las catenarias.
9. Para que el proyecto tenga éxito se recomienda seguir la hoja de ruta de la sección 6.

8 REFERENCIAS

Asamblea Nacional de la República de Ecuador. (2019). *Ley Orgánica de Eficiencia Energética.*

Asamblea Nacional de la República de Ecuador. (2024). *Ley Orgántica de Competitividad Energética.*

Alcaldía Metropolitana de Quito. (2023). Plan Maestro de Movilidad Sostenible del Distrito Metropolitano de Quito – PMMS DMQ.

Asamblea Nacional de la República de Ecuador. (2019). *Ley Orgánica de Eficiencia Energética.*

Alcaldía Metropolitana de Quito. (2023). Plan de Transporte Público. Plan Maestro de Movilidad Sostenible del Distrito Metropolitano de Quito – PMMS DMQ.

C40. (2020). TECNOLOGÍA E INFRAESTRUCTURA DE E-BUS. Disponible en: https://cff-prod.s3.amazonaws.com/storage/files/RzcUlVBSO2CmTGG6CH9QKZkSL2OWclLdst9x0V2k.pdf

EPMTPQ. (2024). Informe del Estado de Subestaciones de Tracción de la EPMNTPQ.

Ministerio de Energía . (2021). Plan de Implementación de la Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional del Ecuador 2020-2025 (PI-NDC).

UNOPS. (2024). Adquisición de trolebuses articulados cien por ciento eléctricos. Disponible en: https://www.ungm.org/Public/Notice/228010

Valencia. (1998). Estudio técnico de las subestaciones de tracción del sistema trolebús del municipio del distrito metropolitano de Quito. Disponible en: https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9024

9 ANEXOS

9.1 ANEXO 1. ESTADO DE LAS SUBESTACIONES DE TRACCION

Las tablas a continuación brindan una descripción general de cada una de las subestaciones de tracción, incluidas las subestaciones de Quitumbe y El Labrador que actualmente no existen.

TABLA 14: Estado Subestación de Tracción Quitumbe (destruida en 2009)

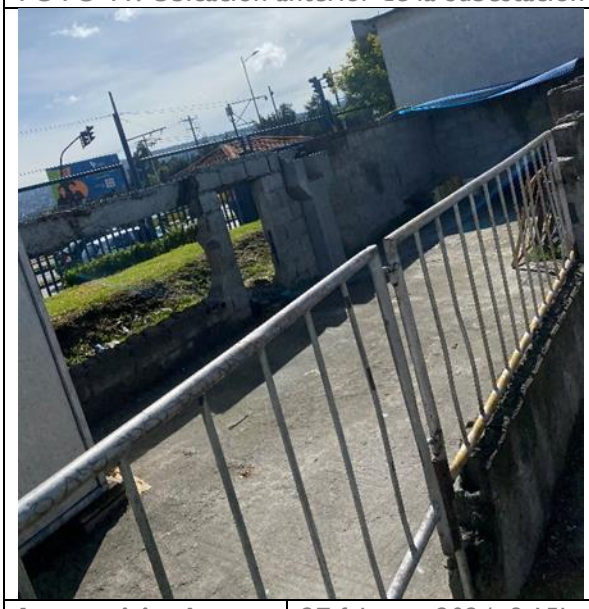
Estado actual	**Inexistente:** - La subestación de tracción Quitumbe fue destruida en 2009, por lo que actualmente no existe. - Como actualmente los Trolebuses no circulan entre Quitumbe y El Recreo, no hubo necesidad de restaurar esta subestación.
Acciones requeridas para la operación.	De requerirse para la operación de los Trolebuses, se necesitan las siguientes acciones: - Adquirir e instalar una nueva subestación. - EEQ necesita probar y revisar la conexión del cable de 22.8 kV que aún está vigente pero que no se utiliza desde 2009. - Si es necesario, EEQ necesita reparar o reemplazar (parcialmente) el cable. - EEQ necesita revisar si la red de alimentación tiene suficiente capacidad disponible para abastecer esta subestación. - EEQ requiere un aviso de al menos 6 meses para que la conexión esté disponible
FOTO 11: Ubicación anterior de la Subestación de Tracción	
	
Lugar visitado	27 febrero 2024, 9:15h

TABLA 15: Estado subestación de tracción Morán Valverde

Estado actual	**No operativo, pero listo para funcionar.** - Actualmente la subestación de tracción (ver foto 12) no se encuentra en servicio debido a que actualmente no circulan Trolebuses en el tramo entre Quitumbe y El Recreo. - El cable de alimentación de 22.8 kV está en servicio y por lo tanto hay tensión en la celda J1 (ver foto 13).
Acciones requeridas	De ser necesario para la operación de los Trolebuses en el futuro: - Esta subestación requiere una actualización de mediana edad (ver sección 5.2.3).

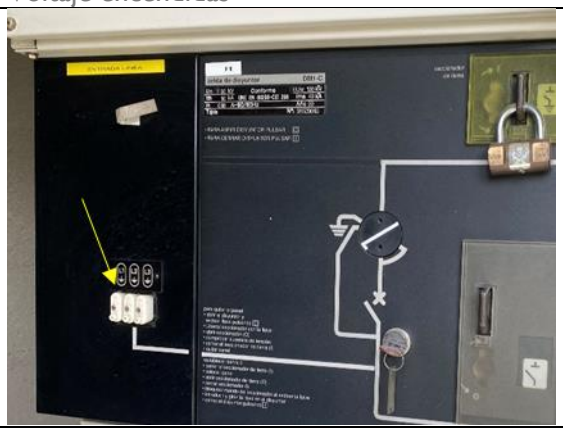
FOTO 12: Subestación de tracción	FOTO 13: Celda J1 con luces indicadoras de Voltaje encendidas
	
FOTO 14: Celda J1	FOTO 15: Celda J4

FOTO 16: Protección contra sobre corriente	FOTO 17: Interruptor entrante J1
FOTO 18: Medidores de Energía EPMTPQ	FOTO 19: Medidor de Energía EEQ
FOTO 20: Transformador de potencia (Baja Tensión)	FOTO 21:: Transformador de potencia (detrás de bushings Transformador auxiliar)

FOTO 22: Nivel de aceite Transformador de potencia	FOTO 23: Nivel de aceite Transformador Auxiliar
FOTO 24: Interruptor CC	FOTO 25: Relés dI /dt (incl. contador de disparos)
FOTO 26: PLC	FOTO 27: Monitor PLC

FOTO 28: Relé de Tierra	FOTO 29: Inductores y condensadores.

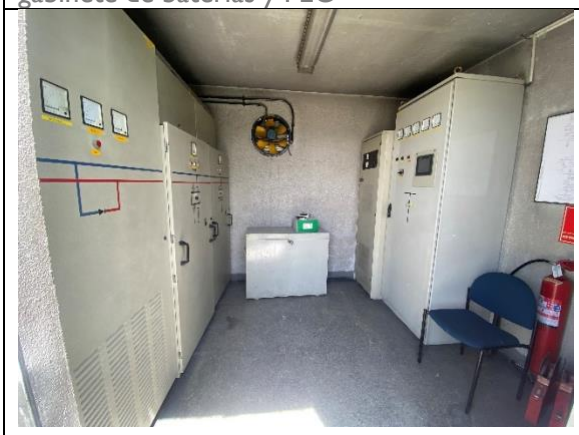
FOTO 30: Sala con convertidores AC/DC (ND1), alimentadores DC (ND2 y ND3), gabinete de baterías y PLC	FOTO 31: Convertidor AC/DC (ND1)
	
Lugar visitado	27 febrero 2024, 10:45h

TABLA 16: Estado subestación de tracción Solanda

Estado actual	**Fuera de servicio** - La subestación de tracción (ver foto 32) no está operativa porque las celdas entrantes J1 y J2 de 22.8 kV resultaron dañadas después de una falla y el fabricante (Schneider) sugiere el reemplazo de estas celdas. - Además, si la subestación de tracción estuviera operativa, actualmente no habría estado en servicio debido a que actualmente no circulan Trolebuses en el tramo entre Quitumbe y El Recreo. - El cable de alimentación de 22.8 kV está en servicio y por lo tanto hay tensión en la celda J1 (ver foto 33).
Acciones requeridas	De ser necesario para la operación de los Trolebuses en el futuro: - Reemplazo de celdas J1-J2. - Esta subestación requiere una actualización de mediana edad (ver sección 5.2.3).

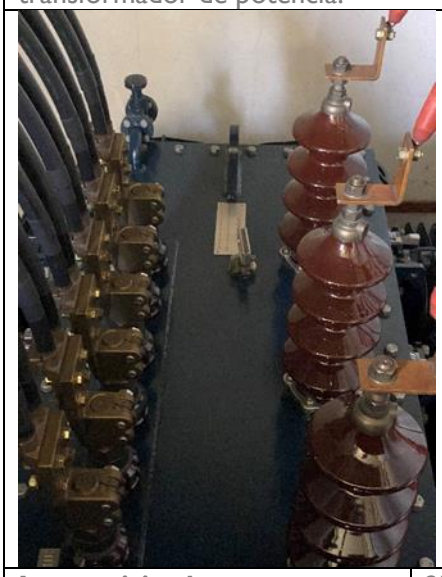
FOTO 32: Subestación de trolebús	FOTO 33: Celda J1 con luces indicadoras de Voltaje encendidas
FOTO 34: Vista superior del transformador de potencia.	FOTO 35: Celdas J1 y J2
	
Lugar visitado	27 febrero 2024, 11:20h

TABLA 17: Estado Subestación de Tracción Lino Flor

Estado actual	**No operativo, pero listo para funcionar.** - Actualmente la subestación de tracción (ver foto 36) no se encuentra en servicio debido a que actualmente no circulan Trolebuses en el tramo entre Quitumbe y El Recreo. - El cable de alimentación de 22.8 kV está en servicio y por lo tanto hay tensión en la celda J1 (ver foto 37). - Fuga de aceite dieléctrico por el transformador de potencia de 2.000 kVA.
Acciones requeridas	De ser necesario para la operación de los Trolebuses en el futuro: - Reparación de fugas en transformadores. - Esta subestación requiere una actualización de mediana edad (ver sección 5.2.3).

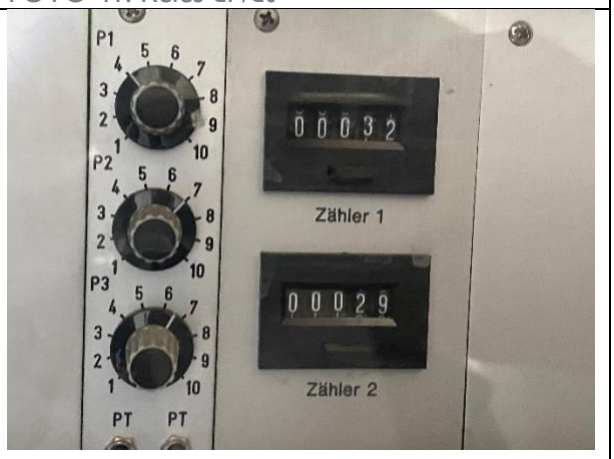
FOTO 36: Subestación de tracción	FOTO 37: Celda J1 con luces indicadoras de Voltaje encendidas
FOTO 38: Nivel de Aceite Transformador Auxiliar	FOTO 39: Baterías
FOTO 40: Interruptor CC	FOTO 41: Relés dI /dt
	
Lugar visitado	27 febrero 2024, 11:50h

TABLA 18: Estado Subestación de Tracción El Recreo (Terminal Sur)

Estado actual	**En funcionamiento, sólo operativo en dirección norte** - La subestación de tracción (ver foto 42) actualmente solo energiza la LAC en dirección Norte (hacia Villaflora) debido a que actualmente no circulan trolebuses en el tramo entre Quitumbe y El Recreo. - El interruptor de CC en ND2 no está operativo.
Acciones requeridas	- De ser necesario para el funcionamiento de los Trolebuses (hacia el Sur) en el futuro será necesario revisar la celda ND2. - Esta subestación requiere una actualización de mediana edad (ver sección 5.2.3).

FOTO 42: Subestación de tracción

FOTO 43: Pantalla del PLC

FOTO 44: Celda J1-J4

FOTO 45: Celda J3, J4 y ND1-ND3

FOTO 46: Gabinete ND3 con interruptor DC unipolar	FOTO 47: Nuevo di/ dt relevos

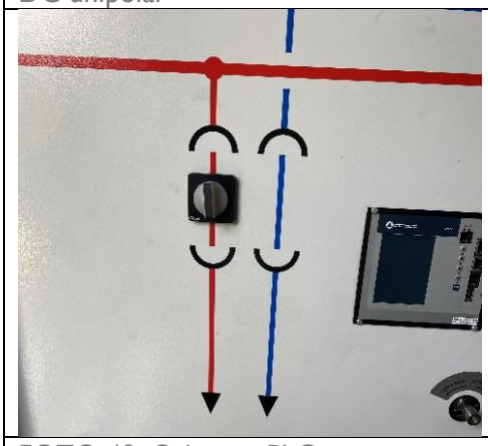



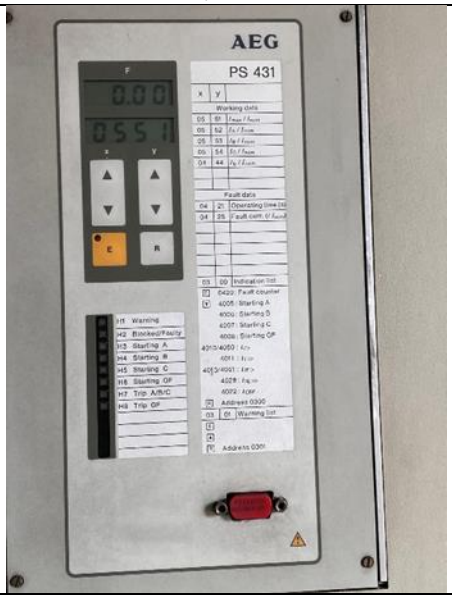
FOTO 48: Gabinete PLC	FOTO 49: Max I, relevo t
	
Lugar visitado	27 febrero 2024, 12:15h

TABLA 19: Estado Subestación de Tracción Villaflora

Estado actual	**Fuera de servicio** - Subestación de tracción (ver foto 50) actualmente no se encuentra en servicio debido a robo de cables de media tensión, cables de señal, tomas de tierra y daños a la subestación (ver fotos 51-57).
Acciones requeridas	- Todos los elementos dañados en esta subestación deben repararse. - Esta subestación requiere una actualización de mediana edad (ver sección 5.2.3).

FOTO 50: Subestación de tracción	FOTO 51: gabinete del PLC dañado

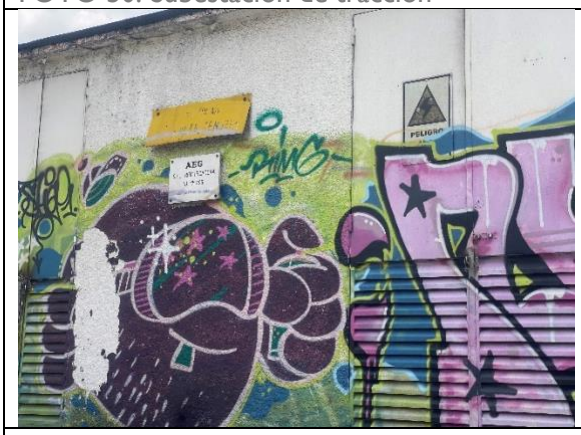



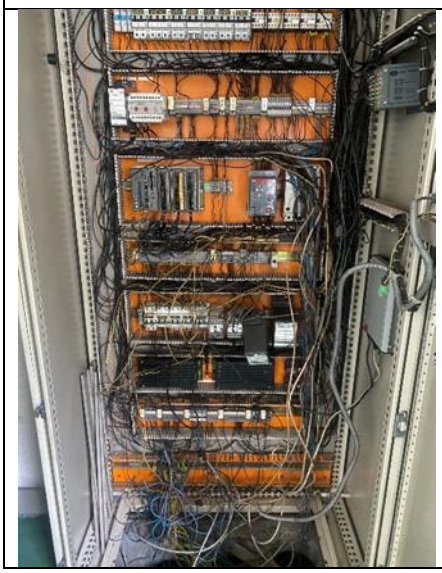
FOTO 52: Gabinete del PLC dañado	FOTO 53: Faltan cables de 6.3 kV al transformador
	

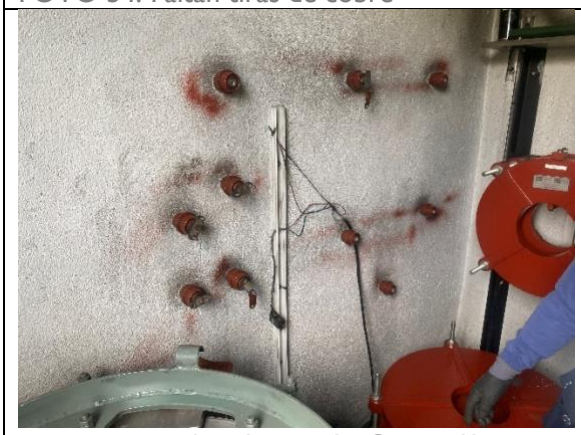
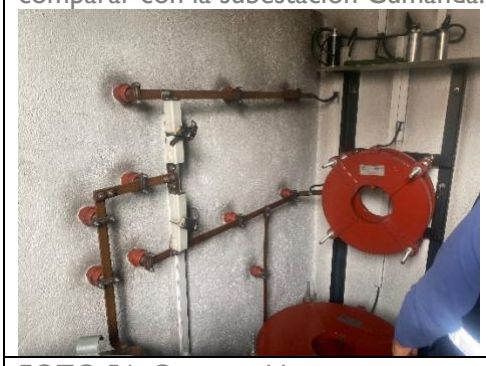
FOTO 54: Faltan tiras de cobre	FOTO 55: Corte tierra cable
 comparar con la subestación Cumandá: 	
FOTO 56: Cortar cables	FOTO 57: Cable entrante de 6.3 kV
Lugar visitado	27 febrero 2024, 13:40h

TABLA 20: Estado de la subestación de tracción Cumandá

Estado actual	**Fuera de servicio** La subestación de tracción (ver foto 58) actualmente no se encuentra en servicio porque: - Robo de cables de media tensión, cables de señal, tomas de tierra y daños a los componentes electrónicos (ver fotos 59-

	60) (menos graves como en Villaflora. y fuga de transformadores (ver fotos 61-63). - Fuga de aceite dieléctrico por el transformador de potencia de 2,000 kVA.
Acciones requeridas	- Todos los elementos dañados en esta subestación deben repararse. - Reparación de fugas en transformadores. - Esta subestación requiere una actualización de mediana edad (ver sección 5.2.3).

FOTO 58: Subestación de tracción	FOTO 59: gabinete del PLC dañado
FOTO 60: Falta un cable de 6.3 kV al transformador Auxiliar	FOTO 61: Fuga de aceite

FOTO 62: Nivel de aceite del transformador	FOTO 63: Fuga de aceite
Lugar visitado	27 febrero 2024, 14:15h

TABLA 21: Estado subestación de tracción San Blas

Estado actual	**En funcionamiento** - Se tienen fallas esporádicas en los carros feeder ND2 y ND3. La última reparación fue en diciembre de 2023.
Acciones requeridas	- ¿Es posible que sea necesario reemplazar el interruptor extrarrápido? - Esta subestación requiere una actualización de mediana edad (ver sección 5.2.3).
FOTO 64: Subestación de tracción	FOTO 65: Portón en subestación

FOTO 66: J2: Tensión CA 6.3 kV, corriente CA ≈ 0A	FOTO 67: ND1: Tensión CC: 820 V; Corriente continua: 100 A.
Lugar visitado	27 febrero 2024, 15:50h

TABLA 22: Estado Subestación Tracción Ejido

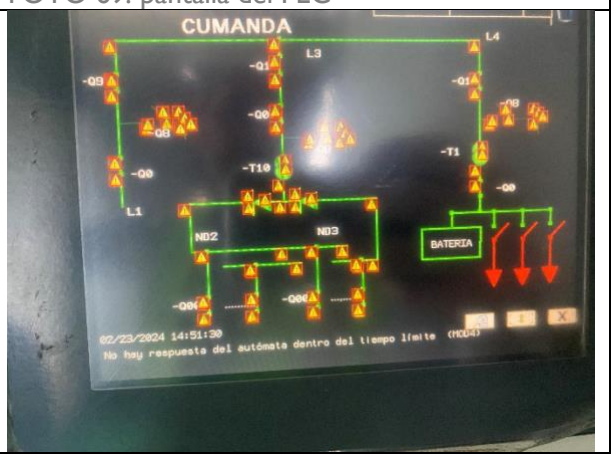
Estado actual	**En funcionamiento** - Se tiene falla en el sistema de comunicación entre los PLC´s y la HMI. El PLC se enfrenta a reinicios.
Acciones requeridas	- Reparación de fugas en transformadores. - Esta subestación requiere una actualización de mediana edad (ver sección 5.2.3). - Si EEQ cambia el voltaje entrante de 6.3 kV a 22.8 kV, parece haber espacio para un transformador de 22.8/6.3 kV frente a la subestación (ver Foto 68).
FOTO 68: Subestación de tracción	FOTO 69: pantalla del PLC
	

FOTO 70: Gabinete PLC ND3	FOTO 71: PLC
Lugar visitado	27 febrero 2024, 14:55h

TABLA 23: Estado Subestación de Tracción Mariana de Jesús

Estado actual	**Fuera de servicio** - Por falla en el sistema de control de las celdas L3, ND1 y los carros. - Fuga de aceite dieléctrico por el transformador de potencia de 2.000kVa. - El cable de alimentación de 6.3 kV está en servicio y por lo tanto hay tensión en la celda J1 (ver foto 72).
Acciones requeridas	- Reparación de fugas en transformadores. - Esta subestación requiere una actualización de mediana edad (ver sección 5.2.3). - EEQ cambiará el voltaje entrante de 6.3 kV a 22.8 kV muy probablemente en 2025; parece haber espacio para un transformador de 22.8/6.3 kV frente a la subestación, sin embargo, la superficie es una rampa (ver Foto 72).

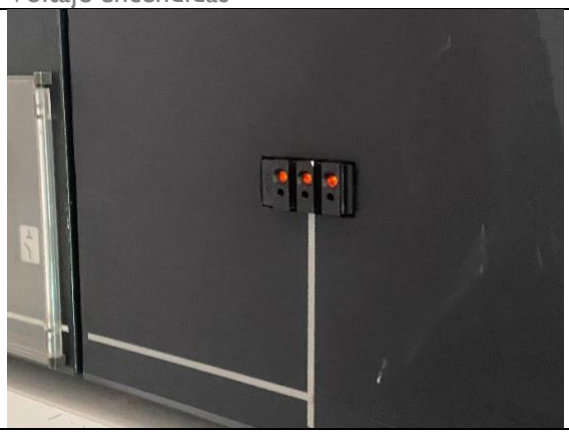
FOTO 72: Subestación de tracción	FOTO 73: Celda J1 con luces indicadoras de Voltaje encendidas
	

FOTO 74: Gabinete PLC ND3	FOTO 75: Gabinete PLC ND2
Lugar visitado	27 febrero 2024, 15:15h

TABLA 24: Estado Subestación de Tracción Naciones Unidas

Estado actual	**En funcionamiento**
Acciones requeridas	- Esta subestación requiere una actualización de mediana edad (ver sección 5.2.3).
FOTO 76: Subestación de tracción	FOTO 77: Subestación de tracción

FOTO 78: Pantalla PLC	FOTO 79: ND1: Tensión CC: 77 0V; Corriente continua: 0 A.
FOTO 80: J1-J4 y ND1	FOTO 81: Gabinete ND3 y PLC
Lugar visitado	27 febrero 2024, 15:35h

TABLA 25: Estado Subestación de Tracción La Y (Terminal Norte)

Estado actual	**En funcionamiento** - Se tiene instalado un carro feeder con disyuntor unipolar (ND3) - existe fuga del aceite dieléctrico en el transformador de potencia de 2,000KVa
Acciones requeridas	- Reparación de fugas en transformadores. - Esta subestación requiere una actualización de mediana edad (ver sección 5.2.3).

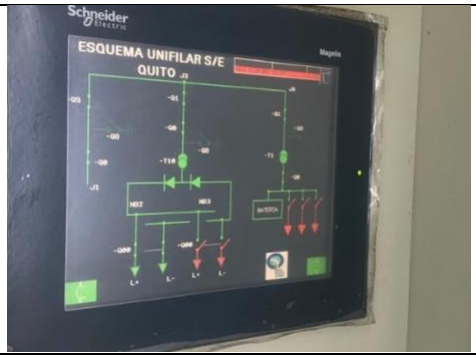
FOTO 82: Subestación de tracción	FOTO 83: Subestación de tracción
FOTO 84: Gabinete ND2	FOTO 85: ND1: Tensión CC: 77 0V; Corriente continua: 0 A.
FOTO 86: Relé de protección AEG PS 431	FOTO 87: Pantalla PLC
	
Lugar visitado	28 de febrero de 2024

TABLA 26: Estado Subestación de Tracción El Labrador (no existente)

Estado actual	**Inexistente:** - La subestación La Y en la abandonada Terminal Norte solía soportar el sistema de Trolebús al final de la ruta. Sin embargo, después de ampliar el sistema de trolebuses hasta El Labrador, ya no existe una subestación de tracción en la estación terminal. De acuerdo con el diseño original, la EPMTPQ plantea que se requiere una subestación de tracción en El

	Labrador, que ahora es la terminal. *La necesidad de esta subestación debe confirmarse mediante simulaciones y solo si no existe una medida alternativa más eficiente (ver sección 4.6).*
Acciones requeridas para la operación.	De requerirse para la operación de los Trolebuses, es necesario las siguientes acciones: - Construcción de la subestación en El Labrador. La foto 1 muestra la ubicación propuesta. - EEQ debe proporcionar una conexión y se debe instalar un cable a la nueva subestación de tracción. EEQ requiere un aviso de al menos 2 años para que la conexión esté disponible [reunión con EEQ]
FOTO 88: Ubicación propuesta para la subestación de tracción El Labrador	
Lugar visitado	28 febrero 2024, 9:00

9.2 ANEXO 2. MODELO DE CALCULOS DE ENERGÍA Y POTENCIA

Archivo de Excel adjunto.