

Contrato de Concesión No.

Apéndice Técnico 9

Sistema de Energía de Tracción y Catenaria



Gobernación de
Cundinamarca

Tabla de contenido

Tabla de contenido	2
CAPÍTULO I – DISPOSICIONES GENERALES	4
SECCIÓN 1 – OBJETO	4
SECCIÓN 2 – CONFIGURACIÓN MÍNIMA DEL SISTEMA DE ENERGIA Y CATENARIA	5
SECCIÓN 3 – OBLIGACIÓN DE RESULTADO	7
SECCIÓN 4 – VIDA ÚTIL	7
CAPÍTULO II – CONFIGURACIÓN Y PARÁMETROS DEL SISTEMA	8
SECCIÓN 5 – ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE ENERGIA	8
SECCIÓN 6 – PARÁMETROS ELÉCTRICOS DEL SISTEMA	10
SECCIÓN 7 – CONDICIONES AMBIENTALES Y DE ALTITUD	11
SECCIÓN 8 – CALIDAD DE LA ENERGIA Y COMPATIBILIDAD CON LA RED PÚBLICA	11
SECCIÓN 9 – ESTUDIOS ELÉCTRICOS OBLIGATORIOS	12
CAPÍTULO III – ALIMENTACIÓN PRIMARIA Y CONEXIÓN CON LA RED	13
SECCIÓN 10 – ACOMETIDAS Y PUNTOS DE CONEXIÓN	13
SECCIÓN 11 – RED DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA (ALTA TENSIÓN)	14
CAPÍTULO IV – SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE TRACCIÓN (SET)	15
SECCIÓN 12 – FUNCIONES DE LA SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN	15
SECCIÓN 13 – DIMENSIONAMIENTO Y FUNCIÓN ELECTRICA DE TRACCIÓN	16
SECCIÓN 14 – CAPACIDAD DE SOBRECARGA Y CLASE DE SERVICIO	17
SECCIÓN 15 – RECUPERACIÓN DE ENERGIA DE FRENADO Y REVERSIBILIDAD	17
SECCIÓN 16 – PROTECCIONES ELÉCTRICAS Y COORDINACIÓN	18
SECCIÓN 17 – UBICACIÓN, IMPLANTACIÓN Y EDIFICACIONES DE LAS SUBESTACIONES	19
CAPÍTULO V – SUBESTACIONES AUXILIARES Y DISTRIBUCIÓN A SISTEMAS DE BAJA TENSIÓN	20
SECCIÓN 18 – SUBESTACIONES AUXILIARES Y CARGAS NO DE TRACCIÓN	20
SECCIÓN 19 – ALIMENTACIÓN SOCORRIDA Y SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA (SAI/UPS)	20
CAPÍTULO VI – LÍNEA AÉREA DE TRACCIÓN (LATE/CATENARIA)	21
SECCIÓN 20 – DEFINICIÓN Y TIPOLOGÍA DE LA LATE	21
SECCIÓN 21 – REQUISITOS GENERALES DEL DISEÑO DE LA LATE	24

SECCIÓN 22 – REQUISITOS GEOMÉTRICOS Y PARTICULARES DE LA LATE	25
SECCIÓN 23 – INTERFAZ PANTÓGRAFO–HILO DE CONTACTO Y CALIDAD DE CAPTACIÓN	26
SECCIÓN 24 – SECCIONAMIENTOS, ZONAS NEUTRAS Y CONTINUIDAD DEL SERVICIO	26
SECCIÓN 25 – SOPORTES, POSTES Y CIMIENTOS DE LA LATE	27
SECCIÓN 26 – INDICADORES DE PRESENCIA DE TENSIÓN	27
CAPÍTULO VII – RETORNO DE CORRIENTE, PUESTA A TIERRA Y CORRIENTES VAGABUNDAS	28
SECCIÓN 27 – SISTEMA DE RETORNO DE CORRIENTE DE TRACCIÓN	28
SECCIÓN 28 – PUESTA EN TIERRA Y PROTECCIÓN DE LAS PERSONAS	28
SECCIÓN 29 – CONTROL DE CORRIENTES VAGABUNDAS Y PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN	29
SECCIÓN 30 – COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA (CEM)	29
CAPÍTULO VIII – TELEMANDO Y GESTIÓN CENTRALIZADA DE LA ENERGÍA (SCADA)	30
SECCIÓN 31 – FUNCIONES DES SCADA DE ENERGÍA	30
SECCIÓN 32 – TELEMANDO, CONSIGNACIÓN Y CORTE DE EMERGENCIA	30
SECCIÓN 33 – DISOCIACIÓN ENERGÉTICA LÍNEA / PATIOS Y TALLERES	31
SECCIÓN 34 – DESEMPEÑO Y TIEMPOS DE RESPUESTA DEL SCADA	32
SECCIÓN 35 – MEDICIÓN Y GESTIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO	32
CAPÍTULO IX – DESEMPEÑO, DISPONIBILIDAD Y EFICIENCIA	33
SECCIÓN 36 – DISPONIBILIDAD Y MODOS DEGRADADOS (CRITERIO N-1)	33
SECCIÓN 37 – EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD	33
CAPÍTULO X – REQUISITOS DE EJECUCIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO	34
SECCIÓN 38 – CONTROL DE MATERIALES Y COMPONENTES	34
SECCIÓN 39 – PRUEBAS, ENSAYOS Y VALIDACIÓN	34
SECCIÓN 40 – ENERGIZACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO	34
CAPÍTULO XI – REQUISITOS EN FASE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	35
SECCIÓN 41 – PRINCIPIOS GENERALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	35
SECCIÓN 42 – INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA LATE	36
SECCIÓN 43 – MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES Y EQUIPOS DE ENERGÍA	36
SECCIÓN 44 – GESTIÓN DE ACTIVOS Y OBSOLESCENCIA	37

CAPÍTULO I – DISPOSICIONES GENERALES

SECCIÓN 1 – OBJETO

- 1.1 El presente Apéndice establece las obligaciones y los requisitos técnicos, funcionales, de desempeño e interoperabilidad aplicables al Sistema de Energía del Proyecto, comprendiendo el sistema de alimentación eléctrica de tracción, la alimentación auxiliar, las Subestaciones Eléctricas de Tracción (SET), la Línea Aérea de Tracción Eléctrica (LATE o catenaria), el sistema de retorno de corriente, la puesta a tierra, la distribución eléctrica asociada al servicio ferroviario, el sistema SCADA de Energía y los demás equipos, instalaciones e interfaces necesarios para garantizar el suministro seguro, continuo y confiable de energía al Proyecto durante el diseño, construcción, integración, pruebas, puesta en servicio, operación, mantenimiento, renovación, repotenciación, actualización tecnológica y reversión del Sistema de Energía
- 1.2 El presente Apéndice establece los criterios mínimos de diseño, seguridad eléctrica, interoperabilidad, desempeño y aceptación aplicables al Sistema de Energía, así como las condiciones que deberán cumplirse durante los modos de operación normal y degradado para garantizar la continuidad del Servicio y el cumplimiento de las obligaciones contractuales.
- 1.3 El Sistema de Energía deberá diseñarse, construirse, integrarse y mantenerse de forma compatible con: a) las características operacionales y de servicio definidas en el Apéndice Técnico 1; b) la infraestructura civil definida en el Apéndice Técnico 4; c) la vía permanente definida en el Apéndice Técnico 5; d) el Material Rodante definido en el Apéndice Técnico 15; e) los sistemas de señalización, control de trenes y telecomunicaciones definidos en el Apéndice Técnico 10; f) los objetivos de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad (RAMS) establecidos para el Proyecto y de acuerdo con el Capítulo de RAMS del Apéndice Técnico 1; g) y los demás apéndices aplicables.
- 1.4 El presente Apéndice establece requisitos mínimos. En consecuencia, el Concesionario será responsable de desarrollar todos los elementos, componentes, sistemas auxiliares y soluciones técnicas necesarias para garantizar el cumplimiento de los resultados exigidos

por el Contrato, aun cuando éstos no se encuentren expresamente descritos en el presente Apéndice.

1.5 Las disposiciones de los distintos Apéndices deberán interpretarse de forma complementaria. La existencia de interfaces entre disciplinas no limitará ni fragmentará la responsabilidad del Concesionario respecto del cumplimiento de los resultados operacionales, funcionales, de seguridad y de desempeño establecidos en el Contrato.

SECCIÓN 2 – CONFIGURACIÓN MÍNIMA DEL SISTEMA DE ENERGIA Y CATENARIA

2.1 El Sistema de Energía objeto del presente Apéndice comprenderá, como mínimo, los componentes y resultados indicados en la Tabla 1.

Tabla 1. Configuración Mínima del Sistema de Energía

Elemento del Sistema	Requisito mínimo
Cobertura de electrificación	El 100 % de las vías principales destinadas a la operación comercial y de las vías de patios-talleres requeridas para la operación bajo tensión deberán disponer de alimentación mediante Línea Aérea de Tracción Eléctrica (LATE).
Sistema de alimentación de tracción	Sistema de alimentación en corriente continua (CC).
Tensión nominal de tracción	1.500 V CC.
Subestaciones Eléctricas de Tracción (SET)	Cantidad, ubicación, capacidad y configuración suficientes para alimentar el 100 % de la red ferroviaria en condiciones normales y degradadas (Criterio N-1), de conformidad con las simulaciones eléctricas de tracción y los criterios de desempeño establecidos en el presente Apéndice.
Alimentación auxiliar	Cantidad, ubicación, capacidad y configuración suficientes para alimentar el 100 % de las cargas auxiliares del Proyecto, incluyendo estaciones, patios, talleres, Centro de Control Operacional (CCO), edificios técnicos y demás instalaciones requeridas.
Línea Aérea de Tracción Eléctrica (LATE)	Sistema continuo de alimentación mediante catenaria, compatible con el Material Rodante y con los parámetros operacionales del Proyecto.
Sistema de retorno de corriente y puesta a tierra	Diseñado para garantizar el retorno seguro de la corriente de tracción, la protección de las personas y

	los equipos, y el cumplimiento de los criterios de seguridad eléctrica establecidos en el presente Apéndice y conforme EN 50122
Control de corrientes vagabundas	Sistema de control y mitigación de corrientes vagabundas que garantice la protección de la infraestructura, las instalaciones y terceros durante toda la Concesión, conforme EN 50122-2 y EN 50162
SCADA de Energía	Sistema de supervisión, telemando, registro histórico de eventos y alarmas, integrado con el Centro de Control Operacional principal y de respaldo.
Alimentación ininterrumpida (UPS/SAI)	Sistema de alimentación ininterrumpida para las cargas críticas de seguridad y control, con una autonomía mínima de cuatro (4) horas o la requerida para garantizar la continuidad operacional del Proyecto.
Gestión de la energía regenerativa	El Sistema de Energía podrá garantizar la adecuada gestión de la energía generada durante el frenado regenerativo del Material Rodante mediante receptividad de la red, almacenamiento, reversibilidad hacia la red eléctrica o disipación controlada, según la solución propuesta por el Concesionario. El Concesionario podrá adoptar la reutilización de la energía de frenado en otros equipamientos operativos del Proyecto. La reversibilidad hacia la red eléctrica tendrá carácter opcional y, de adoptarse, deberá cumplir la normatividad aplicable y los requisitos del Titular de la Red, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono.
Capacidad para ampliaciones	El Sistema de Energía deberá prever las reservas de capacidad física, eléctrica y funcional necesarias para atender incrementos futuros de demanda, ampliaciones del Proyecto o crecimiento de la flota, sin afectar la operación del sistema existente.

2.2 Lo indicado en la Tabla 1 constituyen requisitos mínimos y no limitan la obligación del Concesionario de desarrollar instalaciones o equipos adicionales cuando éstos resulten necesarios para garantizar el cumplimiento de los requisitos funcionales, operacionales, de seguridad, capacidad, disponibilidad, mantenibilidad o desempeño establecidos en el Contrato.

2.3 La configuración definitiva del Sistema de Energía será responsabilidad del Concesionario y deberá justificarse mediante los Estudios y Diseños, simulaciones eléctricas de tracción y demás análisis técnicos que resulten aplicables. La solución propuesta deberá garantizar el

cumplimiento de todos los requisitos funcionales, operacionales, de capacidad, disponibilidad, mantenibilidad, seguridad y desempeño establecidos en el Contrato.

SECCIÓN 3 – OBLIGACIÓN DE RESULTADO

3.1 Las obligaciones previstas en el presente Apéndice constituyen obligaciones de resultado.

El Concesionario deberá entregar un Sistema de Energía completo, integrado, redundante bajo los criterios definidos en el presente Apéndice, y plenamente funcional, capaz de garantizar la operación comercial del servicio ferroviario en las condiciones de capacidad, frecuencia y desempeño definidas en el Contrato y sus Apéndices.

3.2 Salvo por lo expresamente mencionado en el contrato, el Concesionario será responsable del dimensionamiento, diseño de detalle, suministro, instalación, integración, pruebas, energización, puesta en servicio, operación, mantenimiento y reversión de la totalidad del Sistema de Energía, así como de la obtención de las autorizaciones, conexiones y homologaciones aplicables ante el Titular de la Red y las autoridades competentes.

3.3 La enumeración de componentes contenida en el presente Apéndice no limita la obligación del Concesionario de ejecutar cualquier elemento adicional que resulte técnica o funcionalmente necesario para alcanzar los resultados exigidos.

3.4 El hecho de que la conexión al sistema de distribución o transmisión eléctrica dependa de actuaciones del Titular de la Red o de terceros no eximirá al Concesionario de adoptar todas las medidas necesarias para garantizar el cumplimiento de los hitos contractuales, la Puesta en Servicio Comercial y las obligaciones establecidas en el Contrato, sin perjuicio de los eventos expresamente regulados como eximentes de responsabilidad.

SECCIÓN 4 – VIDA ÚTIL

4.1 El Sistema de Energía y sus componentes deberán diseñarse para alcanzar, como mínimo, la vida útil indicada en la Tabla 2, en las condiciones ambientales y de operación del Proyecto, sin perjuicio de la obligación del Concesionario de mantener, renovar y reponer los activos durante toda la vigencia de la Concesión.

Tabla 2. Vida útil y componentes sujetos a renovación durante la concesión

Instalación	Vida útil mínima
Equipos de transformación y rectificación (SET)	30 años
Aparamenta de media tensión y CC	30 años
Hilo de contacto de la LATE	20 años
Sustentadores, péndolas y herrajes de la LATE	30 años
Postes y ménsulas de soporte de la LATE	40 años / vida útil de la obra civil asociada
Sistema SCADA de Energía (hardware/software)	10 años, con gestión de obsolescencia
SAI/UPS	10 años
Baterías VRLA	5 años, con plan de reposición de baterías y previsión de posible reposición preventiva a los 4 años

4.2 El Sistema de Energía deberá diseñarse para garantizar una vida útil compatible con el horizonte de diseño del Proyecto y las condiciones para Reversión. Para tal efecto, el Concesionario deberá seleccionar equipos, materiales y sistemas cuya vida útil permita cumplir las obligaciones establecidas en el Contrato, considerando las renovaciones, reposiciones, repotenciaciones y actualizaciones tecnológicas necesarias durante la Concesión.

4.3 Los componentes cuya vida útil sea inferior al plazo de la Concesión deberán ser objeto de reposición, renovación o actualización tecnológica por parte del Concesionario, de forma que el Sistema de Energía mantenga permanentemente las condiciones de seguridad, disponibilidad, confiabilidad y desempeño exigidas por el Contrato.

CAPÍTULO II – CONFIGURACIÓN Y PARÁMETROS DEL SISTEMA

SECCIÓN 5 – ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE ENERGÍA

5.1 El Sistema de Energía deberá recibir, transformar, convertir, distribuir, supervisar y gestionar la energía eléctrica necesaria para garantizar la operación segura y continua del Proyecto,

incluyendo la alimentación del Material Rodante y de las cargas auxiliares asociadas a la explotación ferroviaria, incluyendo, como mínimo:

- a) energía eléctrica de tracción, en corriente continua, que permita el movimiento de los trenes y el funcionamiento de sus equipos embarcados;
- b) energía eléctrica de baja tensión, normal y socorrida, para los servicios auxiliares de las subestaciones, las estaciones, los locales técnicos, el CCO y los patios-talleres.

5.2 La producción de energía de tracción deberá concentrarse en subestaciones eléctricas de tracción (SET) distribuidas a lo largo del corredor, alimentadas desde la red del operador y conectadas a la LATE.

5.3 La arquitectura del sistema deberá garantizar la segregación funcional entre la alimentación de la línea y la alimentación de los patios-talleres, de modo que un incidente en uno no afecte al otro.

5.4 El Concesionario deberá presentar un diagrama unifilar general del Sistema de Energía y los esquemas de protección y de retorno, que deberá ser No Objetado por la Interventoría.

5.5 El Concesionario deberá definir, justificar e implementar los niveles de redundancia eléctrica y los esquemas de operación de respaldo del Sistema de Energía, de forma que se garantice la continuidad del Servicio Comercial ante fallas simples, indisponibilidades programadas o contingencias razonablemente previsibles.

5.6 Como mínimo, el diseño deberá considerar:

- a) operación del sistema bajo criterio N-1 para las Subestaciones Eléctricas de Tracción, alimentadores principales, seccionamientos críticos y equipos esenciales de control y protección;
- b) esquemas de alimentación alternativa para cargas críticas de seguridad, señalización, telecomunicaciones, control, iluminación de emergencia y SCADA;
- c) segregación funcional entre la alimentación de vías principales, patios, talleres y cargas auxiliares críticas;
- d) procedimientos de transferencia, reconfiguración, aislamiento de fallas y restablecimiento del servicio en modo degradado;
- e) tiempos máximos de conmutación, reconfiguración y recuperación compatibles con los niveles de servicio establecidos en el Contrato;

- f) criterios de priorización de cargas en escenarios de contingencia o pérdida parcial de alimentación.
- g) Los niveles de redundancia, los esquemas de fallback y los procedimientos de operación en modo degradado deberán ser validados mediante estudios eléctricos, simulaciones, análisis RAMS y pruebas de integración.

SECCIÓN 6 – PARÁMETROS ELÉCTRICOS DEL SISTEMA

6.1 El Sistema de Energía deberá cumplir, como mínimo, con los parámetros eléctricos indicados en la Tabla 3, los cuales deberán ser coherentes con el Material Rodante seleccionado y validados mediante simulación eléctrica de tracción.

Tabla 3. Parámetros Eléctricos mínimos del Sistema

Parámetro	Valor de Referencia
Sistema de tracción	Corriente continua (CC)
Tensión nominal de tracción (Un)	1.500 V CC
Rango de tensiones admisibles	Conforme a EN 50163 (Umín–Umáx para 1,5 kV CC)
Tensión máxima no permanente	Conforme a EN 50163
Tensión de alimentación primaria (acometida)	115 kV (alta tensión), configuración de referencia – punto de conexión con el titular (ENEL) y trámite para conexión (UPME)
Tensión de alimentación secundaria (acometida)	34,5 kV AC (media tensión de distribución de tracción)
Frecuencia de la red de alimentación	60 Hz
Esquema de configuración de la LATE	Alimentación bilateral entre subestaciones consecutivas
Ancho de vía	1.435 mm (vía estándar)
Velocidad máxima de diseño para dimensionamiento de energía	80 km/h
Niveles de servicio y frecuencias	Compatible con la capacidad y Plan Operativo propuesto

6.2 La tasa de distorsión armónica inyectada a la red del operador no deberá superar los límites establecidos por la Ley Aplicable y la regulación colombiana de calidad de la energía, así como por las normas de la serie CEI/EN 61000 aplicables.

SECCIÓN 7 – CONDICIONES AMBIENTALES Y DE ALTITUD

7.1 El Sistema de Energía deberá diseñarse considerando las condiciones ambientales reales del corredor del Proyecto, incluyendo de forma específica la altitud de operación del orden de 2.650 m s. n. m., las cuales afectan la rigidez dieléctrica del aire, la disipación térmica de los equipos y los niveles de aislamiento

7.2 Todos los equipos eléctricos deberán aplicar los factores de corrección por altitud correspondientes (derrateo de tensión soportada, distancias de aislamiento y disipación térmica), conforme a las normas IEC 60071, IEC 62497-1, IEC 62497-2 e IEC 60664, según corresponda. No se admitirán equipos certificados únicamente para condiciones de nivel del mar sin la corrección por altitud debidamente justificada.

7.3 El diseño de aislamiento, líneas de fuga y coordinación de aislamiento de la LATE, las subestaciones y la aparamenta deberá considerar el nivel de contaminación y de humedad/niebla propio de la Sabana de Bogotá, así como el elevado nivel cerámico de la región para el diseño de la protección contra descargas atmosféricas y sobretensiones.

SECCIÓN 8 – CALIDAD DE LA ENERGIA Y COMPATIBILIDAD CON LA RED PÚBLICA

8.1 La red eléctrica de los operadores de Bogotá y Cundinamarca no deberá verse afectada por el Proyecto. El Concesionario deberá limitar las perturbaciones armónicas, los desequilibrios y las fluctuaciones de tensión generados por el sistema de tracción, cumpliendo la serie de normas CEI/EN 61000, la regulación colombiana de calidad de la potencia y los requisitos del Titular de la Red.

8.2 El Concesionario deberá cumplir todos los requisitos de las empresas de energía para la instalación y/o adecuación del servicio solicitado, desde los estudios de factibilidad hasta la puesta en marcha del Proyecto.

- 8.3 Cuando resulte necesario para cumplir los límites de calidad de la energía, el Concesionario deberá prever filtros de armónicos, equipos de compensación de reactiva u otras medidas de mitigación, debidamente dimensionados y justificados.
- 8.4 El Concesionario deberá elaborar y aplicar un concepto integral de puesta a tierra conforme a las normas de seguridad eléctrica aplicables, en particular el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y la norma EN 50122.

SECCIÓN 9 – ESTUDIOS ELÉCTRICOS OBLIGATORIOS

- 9.1 Como parte de los Estudios y Diseños, el Concesionario deberá desarrollar todos los estudios eléctricos necesarios para justificar la configuración definitiva del Sistema de Energía y demostrar el cumplimiento de los requisitos establecidos en el presente Apéndice.
- 9.2 Dichos estudios deberán demostrar, además, el cumplimiento de las condiciones de seguridad exigidas e incorporar cualquier estudio adicional requerido por el Titular de la Red o por las entidades que intervengan en el proceso.
- 9.3 Como mínimo, deberán desarrollarse los siguientes estudios:
- a) simulación de demanda eléctrica de tracción;
 - b) simulación de flujo de carga;
 - c) simulación de cortocircuito;
 - d) coordinación y selectividad de protecciones;
 - e) análisis de caídas de tensión;
 - f) evaluación de la capacidad de absorción de energía regenerativa;
 - g) simulación de modos degradados y criterio N-1;
 - h) análisis de corrientes vagabundas/parásitas;
 - i) análisis de compatibilidad electromagnética (CEM);
 - j) simulación de la interacción dinámica pantógrafo–LATE;
 - k) estudios adicionales solicitados por el Titular de la red o por las entidades que intervienen en el proceso.
 - l) cualquier otro estudio requerido para demostrar el cumplimiento del Contrato y de las condiciones de seguridad exigidas.

9.4 Los estudios deberán realizarse utilizando metodologías internacionalmente aceptadas y deberán ser consistentes con la configuración definitiva del Material Rodante, la operación prevista y la demanda del Proyecto.

CAPÍTULO III – ALIMENTACIÓN PRIMARIA Y CONEXIÓN CON LA RED

SECCIÓN 10 – ACOMETIDAS Y PUNTOS DE CONEXIÓN

- 10.1 El Concesionario deberá definir, dentro de los primeros sesenta (60) Días de la Fase Previa, e informar a la Interventoría y EFR su estrategia de suministro de alta tensión, junto con los Titulares de las Redes que presten el servicio en la zona del Proyecto.
- 10.2 El Concesionario deberá gestionar y obtener los puntos de conexión con el Titular de la Red y con la UPME, gestionando las garantías y cumpliendo las solicitudes de los organismos, así como acreditar la disponibilidad de capacidad firme suficiente para la operación nominal y los escenarios de máxima demanda del Proyecto, considerando la reserva de crecimiento prevista para el horizonte de diseño.
- 10.3 Los puntos de conexión con el Titular de la Red deberán ser:
- a) eléctricamente independientes y
 - b) contar con capacidad firme suficiente para la operación normal, la máxima demanda y el modo degradado N-1
- 10.4 No se considerará como alimentación redundante ni como fuente alternativa independiente cualquier configuración de doble alimentación que dependa, total o parcialmente, de un mismo elemento con potencial de falla común, incluyendo, entre otros, barras, transformadores, circuitos de distribución o subestaciones del Titular de la Red. En consecuencia, la pérdida o indisponibilidad de dicho elemento común no deberá comprometer simultáneamente ambas alimentaciones.
- 10.5 El Sistema de Energía comprende tanto la alimentación de alta tensión —cuya conexión depende del Titular de la Red— como la alimentación de tracción, a cargo del Concesionario. El Concesionario deberá gestionar y negociar con los Titulares de las Redes los puntos y subestaciones de alta tensión a los que podrá conectarse, siendo de su responsabilidad la energía de tracción y la que alimenta la señalización.

- 10.6 La configuración de referencia del Sistema de Energía del Proyecto comprende:
- a) Puntos de conexión con la red del operador (ENEL) en 115 kV AC;
 - b) Subestaciones de Alta Tensión del Proyecto (SEA), con arquitectura tipo GIS en 115 kV y barra de 34,5 kV;
 - c) La red de distribución de media tensión en 34,5 kV AC hacia las Subestaciones de Tracción (SET);
 - d) Las SET, que transforman y rectifican de 34,5 kV AC a 1.500 V CC e incorporan filtros y control de calidad de energía, protecciones de corriente continua y seccionamiento, alimentando la Línea Aérea de Tracción Eléctrica (LATE);
 - e) La LATE/catenaria aérea en 1.500 V CC; y
 - f) A bordo del Material Rodante, el convertidor de tracción y el motor de tracción de corriente alterna con capacidad de frenado regenerativo.
- 10.7 La configuración en el presente Apéndice tiene carácter referencial y el diseño definitivo podrá variar siempre que el Concesionario justifique el cumplimiento de los requisitos técnicos, de disponibilidad, de seguridad eléctrica y del criterio N-1 establecidos en el presente Apéndice.
- 10.8 El esquema de acometidas deberá proporcionar la redundancia necesaria para cumplir los requisitos de disponibilidad, evitando que la pérdida de un único punto de conexión comprometa la operación comercial del servicio.
- 10.9 Se considerarán como base cuatro (4) puntos de conexión existentes con ENEL, sujeto a la definición final con el operador. El Concesionario deberá obtener y validar los datos del Titular de la Red necesarios para el diseño de protecciones, en particular la potencia y corriente de cortocircuito en cada punto de conexión.

SECCIÓN 11 – RED DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA (ALTA TENSIÓN)

- 11.1 El Concesionario deberá diseñar, suministrar e instalar la red de distribución primaria que vincula los puntos de conexión con las subestaciones del Proyecto, incluyendo cables, canalizaciones, celdas de media tensión y equipos de protección y maniobra.
- 11.2 Las redes se implementarán de tal manera que:
- a) La red primaria se implementará mediante un banco de ductos continuo, registrable y mantenible, con reserva para futuras ampliaciones, reposiciones y redundancias;

- b) La red de media tensión operará en configuración de anillo cerrado, seccionable y reconfigurable desde fuentes independientes, de modo que la falla de una fuente, tramo o celda no comprometa la continuidad del servicio; la solución en media tensión deberá justificarse frente a la alternativa de conexión en alta tensión mediante análisis técnico y de confiabilidad; y
 - c) Las canalizaciones de señalización, telecomunicaciones, control y SCADA discurrirán por rutas físicamente independientes y redundantes dentro de los bancos de ductos, en coordinación con el Apéndice Técnico 10 y los demás Apéndices aplicables.
- 11.3 Los cables de la red primaria deberán ser preferentemente subterráneos. No se admitirán tendidos aéreos de la red primaria salvo justificación técnica y No Objeción de la Interventoria.
- 11.4 La red de distribución primaria deberá dimensionarse para las condiciones de carga nominal, de sobrecarga normal y de operación en modo degradado, y deberá permitir la reconfiguración necesaria para alimentar las cargas críticas ante la indisponibilidad de un tramo o de una fuente.
- 11.5 La implantación de las instalaciones de energía no podrá afectar las líneas de distribución de las empresas de energía a lo largo del corredor.

CAPÍTULO IV – SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE TRACCIÓN (SET)

SECCIÓN 12 – FUNCIONES DE LA SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN

- 12.1 Las subestaciones eléctricas de tracción (SET) deberán cumplir, como mínimo, las siguientes funciones:
- a) recibir la energía de alta tensión del Titular de la Red y distribuirla en el interior de la subestación;
 - b) producir la energía de tracción mediante transformación y rectificación de la corriente alterna en corriente continua a mínimo 1.500 V;
 - c) distribuir la energía de tracción para alimentar la LATE, garantizando la alimentación bilateral entre subestaciones consecutivas;

- d) producir y distribuir la energía de baja tensión para el control-mando de la subestación y, cuando corresponda, para estaciones y locales técnicos asociados;
 - e) garantizar el control-mando, la supervisión y la protección de las personas y de los equipos;
 - f) gestionar la energía recuperada por el frenado eléctrico del Material Rodante
- 12.2 El Sistema de Energía deberá permitir el desarrollo de los modos degradados del sistema de transporte, incluyendo servicios provisionales, remolque de un tren en cualquier punto de la línea, en particular en rampas fuertes, y reconfiguraciones de alimentación.
- 12.3 El sistema deberá poder operarse a distancia desde el CCO. Las fuentes eléctricas de la totalidad o de parte de las instalaciones deberán poder cortarse como medida de seguridad (función de “corte de urgencia”) desde el CCO

SECCIÓN 13 – DIMENSIONAMIENTO Y FUNCIÓN ELECTRICA DE TRACCIÓN

- 13.1 El dimensionamiento eléctrico propuesto por el Concesionario (número, ubicación y potencia de las SET, secciones de la LATE y *feeders*) deberá ser comprobado mediante simulaciones eléctricas de tracción que reproduzcan los escenarios de Operación del Proyecto.
- 13.2 Las simulaciones deberán considerar, como mínimo: la malla de explotación y frecuencias de servicio; el perfil del trazado (incluida la rampa determinante del 5%); las curvas características del Material Rodante; los escenarios de hora pico y de máxima carga; la receptividad de la energía de frenado; y los escenarios de modo degradado, en particular la pérdida de una SET.
- 13.3 Las simulaciones deberán incorporar, además, los escenarios de pérdida del punto de conexión del Titular de la Red y de pérdida de un alimentador primario, verificando el cumplimiento real del criterio N-1 y la eventual necesidad de conexión en alta tensión 115 kV AC.
- 13.4 El Concesionario deberá presentar, adicionalmente, un análisis de sensibilidad del dimensionamiento de las SET (número, ubicación, potencia y separación entre

subestaciones), justificado en términos técnicos, operacionales y de ciclo de vida, sin que se admita una cantidad predeterminada de SET carente de sustento.

- 13.5 Las simulaciones deberán verificar el cumplimiento de los rangos de tensión en pantógrafo (EN 50163), las temperaturas de los conductores, la capacidad térmica de los equipos y los niveles de tensión riel-suelo (EN 50122).
- 13.6 Los análisis de sensibilidad indicados en esta sección deberán ser entregados por el Concesionario dentro de los ciento ochenta (180) días calendario contados a partir del inicio de la Fase de Construcción. La Interventoría no otorgará la No Objeción al dimensionamiento de las SET ni a la arquitectura del sistema de alimentación de tracción hasta que dichos análisis hayan sido revisados y se haya verificado que el número, ubicación y potencia de las SET se encuentran técnicamente sustentados mediante las simulaciones y evaluaciones requeridas en el presente Apéndice
- 13.7 El Concesionario deberá entregar las notas de cálculo, modelos y resultados de simulación como evidencia verificable del dimensionamiento, de acuerdo con el Apéndice Técnico 17.

SECCIÓN 14 – CAPACIDAD DE SOBRECARGA Y CLASE DE SERVICIO

- 14.1 Los equipos de tracción de las SET deberán alcanzar, como mínimo, una clase de servicio VI en el sentido de la norma EN 50328 / IEC 60146-1-1, con el fin de contemplar las fluctuaciones del tráfico en hora pico respecto de la situación nominal.
- 14.2 En consecuencia, los equipos de tracción deberán soportar, como mínimo:
- a) la corriente nominal (I_n) de manera permanente;
 - b) $1,5 \times I_n$ durante 2 horas;
 - c) $3 \times I_n$ durante 1 minuto.
- 14.3 El dimensionamiento deberá garantizar que, en modo degradado por pérdida de una SET, las subestaciones vecinas absorban la potencia perdida sin afectar la operación comercial.

SECCIÓN 15 – RECUPERACIÓN DE ENERGIA DE FRENADO Y REVERSIBILIDAD

- 15.1 El Sistema de Energía podrá recuperar la energía generada por el frenado eléctrico del Material Rodante, garantizando una receptividad adecuada de la red de tracción.
- 15.2 El Concesionario podrá adoptar, justificadamente, una o más de las siguientes soluciones para gestionar la energía de frenado:
- a) intercambio de energía entre trenes a través de la LATE;
 - b) subestaciones reversibles (inversoras) capaces de devolver energía a la red;
 - c) sistemas de almacenamiento de energía en vía o a bordo; y/o
 - d) resistencias de disipación dimensionadas para los casos en que la energía no pueda recuperarse.
- 15.3 De optarse por la reversibilidad hacia la red, ésta tendrá carácter opcional y deberá cumplir la normatividad aplicable y los requisitos del Titular de la Red; alternatively, la energía de frenado podrá reutilizarse en otros equipamientos operativos del Proyecto
- 15.4 Los dispositivos de recuperación o disipación deberán estar correctamente dimensionados, incluyendo su capacidad de funcionar en modo degradado, y no deberán generar sobretensiones que superen los límites de la norma EN 50163.

SECCIÓN 16 – PROTECCIONES ELÉCTRICAS Y COORDINACIÓN

- 16.1 El Concesionario deberá diseñar e implementar un sistema de protecciones eléctricas coordinado para la alimentación primaria, las SET, la LATE y el sistema de retorno, que garantice la detección y el despeje selectivo de faltas, la protección de las personas y la integridad de los equipos.
- 16.2 El sistema de protección de la LATE en corriente continua deberá detectar, como mínimo, las faltas francas y las faltas de alta impedancia, e incluir funciones de reenganche controlado, protección direccional y detección de roturas de la LATE, conforme a las buenas prácticas y a la norma EN 50123.
- 16.3 La coordinación de aislamiento y la selectividad de las protecciones deberán justificarse mediante estudios específicos, considerando las corrientes de cortocircuito del Titular de la Red y las condiciones de altitud del Proyecto.

16.4 Los equipamientos estratégicos deberán estar supervisados y, cuando corresponda, telemandados desde el CCO (alarmas de temperatura, sobretensión, fusión de fusibles, detección de incendio, entre otras).

SECCIÓN 17 – UBICACIÓN, IMPLANTACIÓN Y EDIFICACIONES DE LAS SUBESTACIONES

17.1 Dentro de los predios entregados por la EFR, el Concesionario tendrá libertad para definir la ubicación definitiva de las SET, siempre que cumpla los requisitos funcionales, operacionales, ambientales, de seguridad y de integración establecidos en el Contrato, el presente Apéndice Técnico, y los demás Apéndices aplicables y que dicha ubicación quede debidamente justificada mediante las simulaciones y estudios correspondientes.

17.2 La ubicación de las SET deberá cumplir, por orden de prioridad, los siguientes criterios:

- a) funcionamiento del sistema en modos normal y degradado, en corriente y tensión, sin impacto sobre la operación;
- b) concentración de funciones en un mismo local (tracción, baja tensión de estación y de talleres, servicios auxiliares); y
- c) equilibrado de cargas entre subestaciones vecinas y reserva de capacidad.

17.3 La ubicación definitiva de las SET se justificará mediante una matriz multicriterio (técnicos, operacionales, prediales, constructivos y ambientales), considerando la proximidad a los puntos de conexión, el impacto predial, las interferencias con redes existentes, el acceso para mantenimiento, la seguridad, la disponibilidad de espacio para ampliaciones, la longitud de *feeders*, las pérdidas eléctricas y el equilibrio de cargas entre SET vecinas, así como la eventual afectación de bienes de interés cultural (BIC). Las funciones de las SET se desarrollarán bajo criterios de eficiencia técnica, evitando sobredimensionamientos, y cada SET justificará su necesidad funcional dentro de la arquitectura general del Sistema de Energía.

17.4 Las SET no podrán ubicarse fuera de los predios entregados por la EFR, salvo que el Concesionario adquiera nuevos predios por su cuenta y riesgo, en cuyo caso deberá revertirlos conforme al Contrato.

- 17.5 Las SET deberán ser de tipo modular y lo más compactas posible. El Concesionario deberá suministrar las edificaciones, salas técnicas, centros de control eléctrico, cuartos de equipos y demás instalaciones requeridas para alojar y operar los sistemas energéticos.
- 17.6 Se deberá implementar un sistema de detección de inundación y de detección/extinción de incendio en las SET, integrado al SCADA de Energía.
- 17.7 La cantidad y capacidad definitivas de las SET serán las que resulten de la simulación eléctrica de tracción, sin que en ningún caso puedan ser inferiores a las necesarias para garantizar la operación nominal y el criterio N-1.
- 17.8 Las SET deberán prever reserva de espacio, canalizaciones, cimentaciones y disposiciones constructivas que permitan futuras ampliaciones de potencia sin afectar significativamente la operación ferroviaria.
- 17.9 El diseño del sistema deberá considerar la posibilidad de incorporar futuras SET o centros de seccionamiento sin modificaciones sustanciales de la arquitectura general.

CAPÍTULO V – SUBESTACIONES AUXILIARES Y DISTRIBUCIÓN A SISTEMAS DE BAJA TENSIÓN

SECCIÓN 18 – SUBESTACIONES AUXILIARES Y CARGAS NO DE TRACCIÓN

- 18.1 El Concesionario deberá proveer las subestaciones y centros de distribución de baja tensión necesarios para alimentar la totalidad de las cargas auxiliares del Proyecto, incluyendo estaciones, CCO, patios-talleres, locales técnicos, sistemas de señalización y telecomunicaciones, puertas de andén, ascensores, escaleras mecánicas, iluminación y demás equipos.
- 18.2 La distribución de baja tensión deberá garantizar la continuidad de servicio de las cargas críticas y la segregación entre cargas de seguridad y cargas de confort.

SECCIÓN 19 – ALIMENTACIÓN SOCORRIDA Y SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA (SAI/UPS)

- 19.1 El Sistema de Energía deberá permitir el funcionamiento de los equipos de seguridad (señalización, telecomunicaciones, sistemas de control, iluminación de emergencia, entre

otros) durante un mínimo de cuatro (4) horas en caso de cualquier falla del suministro de energía, mediante sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI/UPS) debidamente dimensionados. La autonomía mínima deberá ser, en todo caso, la necesaria para garantizar la evacuación segura de los usuarios y la gestión del incidente, sin ser inferior a cuatro (4) horas para las cargas de control, señalización y telecomunicaciones. Asimismo, las cargas críticas deberán contar con alimentación redundante y rutas de canalización segregadas, adicionalmente a los SAI/UPS.

19.2 El Concesionario deberá definir la lista de cargas socorridas y de cargas de emergencia, los tiempos de autonomía requeridos por cada una y los esquemas de conmutación, que se someterán a No Objeción por parte de la interventoría.

19.3 Los sistemas SAI/UPS y sus baterías deberán contar con supervisión integrada al SCADA de Energía y con un plan de reposición de baterías dentro del régimen de gestión de activos.

CAPÍTULO VI – LÍNEA AÉREA DE TRACCIÓN (LATE/CATENARIA)

SECCIÓN 20 – DEFINICIÓN Y TIPOLOGÍA DE LA LATE

20.1 La Línea Aérea de Tracción Eléctrica (LATE) tiene como función principal el transporte de la corriente de tracción a lo largo de la línea, permitiendo el movimiento de los trenes y el funcionamiento de sus equipos auxiliares, así como el intercambio de potencia entre trenes durante el frenado por recuperación eléctrica.

20.2 El Concesionario podrá proponer, en función de las exigencias de cada tramo, una de las siguientes tipologías de LATE:

- a) una línea aérea de contacto simple (LAC), constituida por uno o dos hilos de contacto sin cable sustentador;
- b) una línea de suspensión tipo catenaria (CAT), con hilo de contacto y cable sustentador;
- c) catenaria rígida, en tramos singulares tales como pasos bajo estructuras, donde existan limitaciones de gálibo.

20.3 El Concesionario será responsable de definir la tipología de Línea Aérea de Tracción Eléctrica (LATE) más adecuada para cada tramo del Proyecto, mediante una evaluación comparativa que deberá contemplar:

- a) las alternativas permitidas:
 - a. línea aérea de contacto simple (LAC);
 - b. catenaria con sustentador;
 - c. catenaria rígida; y
 - d. soluciones tipo tranviaria
- b) la solución de Material Rodante propuesta;
- c) el rango de velocidad de diseño;
- d) las condiciones de operación; y
- e) los requisitos establecidos en el presente Apéndice.
- f) las ordenanzas gubernamentales aplicables;
- g) las alturas determinadas; y
- h) los elementos de protección y aviso

20.4 Sin perjuicio de lo anterior, y del Apéndice Técnico 4 el Concesionario deberá considerar las restricciones físicas de la infraestructura existente, particularmente aquellas asociadas a limitaciones de gálibo vertical, estructuras especiales y demás condicionantes que puedan afectar el diseño de la LATE.

Tabla 4. Tramos con restricciones para el diseño de la LATE

PK	Punto de referencia	Tipo de cruce	Tipología	Gálibo mínimo (m)
PK04+129	NQS x CL 65	Desnivel	Peatonal	0.391
PK04+422	NQS x CL 68	Desnivel	Peatonal	6.51
PK04+450	CL 68	Desnivel	Vehicular	4.97
PK04+613	NQS x CL 70	Desnivel	Peatonal	5.38
PK04+985	NQS x CL 72	Desnivel	Peatonal	5.43
PK05+007	Av Chile	Desnivel	Vehicular	4.95

¹ Sobre el puente peatonal NQS x CL 65 se proyecta el puente férreo NQS; con respecto a la cota riel se obtiene un gálibo de 0.39 m hasta el borde inferior de la estructura peatonal.

PK	Punto de referencia	Tipo de cruce	Tipologia	Gálibo mínimo (m)
PK05+015	Av Chile	Desnivel	Peatonal	4.90
PK05+462	NQS x CL 76	Desnivel	Peatonal	5.17
PK05+948	CL 80	Desnivel	Vehicular	5.05
PK06+016	NQS x CL 80	Desnivel	Peatonal	5.58
PK06+308	NQS x CL 86A	Desnivel	Peatonal	5.48
PK06+798	NQS x CL 89	Desnivel	Peatonal	4.92
PK07+104	Autopista Norte	Desnivel	vehicular	5.39
PK07+142	NQS x Autopista Norte	Desnivel	Peatonal	5.39
PK07+508	DG 92 x CL 94	Desnivel	Peatonal	6.20
PK08+265	DG 92 x TR 17	Desnivel	Peatonal	9.56
PK8+355	Glorieta CL 100 x CR 15 S	Desnivel	Vehicular	6.00
PK08+423	CL 100	Desnivel	Vehicular	14.23
PK08+458	CR 11	Desnivel	Vehicular	7.79
PK08+489	Glorieta CL 100 x CR 15 N	Desnivel	Vehicular	5.50
PK09+197	CL 106	Desnivel	Vehicular	5.50
PK09+568	DG 108A	Desnivel	Peatonal	5.00
PK10+263	CL 116	Desnivel	Peatonal	5.25
PK10+273	CL 116	Desnivel	Vehicular	5.22
PK10+284	CL 116	Desnivel	Peatonal	5.19
PK10+869	CL 123	Desnivel	Peatonal	5.50
PK11+326	CL 127	Desnivel	Vehicular	5.42
PK11+346	CL 127	Desnivel	Peatonal	5.36
PK11+865	CL 129	Desnivel	Peatonal	5.02
PK12+359	CL 134 WE Proyectada	Desnivel	Vehicular	5.92
PK12+373	CL 134 EW Proyectada	Desnivel	Vehicular	6.01
PK14+379	CL 153 WE Proyectada	Desnivel	Vehicular	5.86

PK	Punto de referencia	Tipo de cruce	Tipología	Gálibo mínimo (m)
PK14+417	CL 153 EW Proyectada	Desnivel	Vehicular	5.87
PK16+270	CL 170 WE Proyectada	Desnivel	Vehicular	6.00
PK16+294	CL 170 EW Proyectada	Desnivel	Vehicular	6.18
PK17+605	CL 183 WE Proyectada	Desnivel	Vehicular	6.00
PK17+641	CL 183 EW Proyectada	Desnivel	Vehicular	6.18
PK28+391	Vía Bogotá - La Caro	Desnivel	Vehicular	5.01
PK28+898	Vía Bogotá - Tocancipá	Desnivel	Vehicular	5.39
PK29+235	Vía Bogotá - Chía	Desnivel	Vehicular	5.74
PK44+462	Vía Bogotá - Ubaté	Desnivel	Vehicular	5.18

SECCIÓN 21 – REQUISITOS GENERALES DEL DISEÑO DE LA LATE

- 21.1 La LATE deberá diseñarse para alcanzar, como mínimo, los siguientes desempeños: garantizar la seguridad de terceros y usuarios; permitir la circulación del Material Rodante a la velocidad máxima de operación de cada tramo; mantener el comportamiento nominal en hora pico con las frecuencias de servicio del Proyecto; y mantener una disponibilidad coherente con la de la red de alimentación de tracción y con los objetivos RAMS.
- 21.2 El diseño de la LATE deberá considerar, como mínimo: las restricciones del sitio (aspecto arquitectónico, ocupación del espacio urbano, distancias a la malla vial y a fachadas, presencia de estructuras y redes); las exigencias del sistema de transporte (velocidades por tramo, interfaz con el Material Rodante, posición de los seccionamientos, aparatos de vía, servicios provisionales, terminales); y las exigencias técnicas propias de la LATE (limitación del desgaste mecánico, obligaciones eléctricas).

- 21.3 Cuando las condiciones locales (pasos bajo estructuras) impongan una variación de altura del hilo de contacto, ésta deberá realizarse con una pendiente compatible con la velocidad de circulación del Material Rodante, cumpliendo la norma EN 50119.
- 21.4 Los equipos e instalaciones de la LATE deberán cumplir las normas EN 50119, EN 50122, EN 50149 y demás normas aplicables de la serie EN, así como las recomendaciones vigentes de la CEI y de la UIC.
- 21.5 Todos los componentes de la LATE deberán responder a criterios de intercambiabilidad, desmontabilidad y limitación del desgaste mecánico. El conjunto de los equipos deberá poder repararse tras una avería puntual dentro de la ventana nocturna de mantenimiento, en un plazo máximo de referencia de 4 horas, sin afectar la operación comercial del día siguiente

SECCIÓN 22 – REQUISITOS GEOMÉTRICOS Y PARTICULARES DE LA LATE

- 22.1 El diseño del contacto entre el pantógrafo y el hilo de contacto deberá establecerse con la presión suficiente para garantizar una buena captación de corriente, considerando el trazado de la línea y el perfil de la vía.
- 22.2 Todos los cantones deberán compensarse en ambos extremos. Únicamente se admitirá compensación en un solo extremo para seccionamientos cuya longitud sea igual o menor a 600 m.
- 22.3 En caso de adoptarse una solución con *feeders* de acompañamiento, los cables asociados deberán ser subterráneos (no aéreos).
- 22.4 El descentramiento (zig-zag) del hilo de contacto deberá definirse conforme a la guía de la UIC respecto de la posición del hilo en relación con el pantógrafo. El Concesionario deberá producir la nota de cálculo correspondiente. En todo caso, el descentramiento quedará limitado a 250 mm respecto del eje de vía.
- 22.5 El dimensionamiento de la totalidad de los cables e hilos de la LATE deberá ser coherente con la simulación eléctrica de tracción y con los criterios operativos.
- 22.6 El Concesionario deberá realizar estudios específicos del perfil de la LATE que cumplan los criterios de la norma EN 50119 y el perfil de velocidad propuesto, sin perjudicar el desempeño operacional.

22.7 Los valores definitivos de geometría de la LATE deberán justificarse mediante notas de cálculo y simulación dinámica, y no podrán implicar una degradación de la calidad de captación por debajo de los criterios establecidos en el presente Apéndice.

SECCIÓN 23 – INTERFAZ PANTÓGRAFO–HILO DE CONTACTO Y CALIDAD DE CAPTACIÓN

23.1 Sin perjuicio de lo establecido en el Apéndice Técnico 18, el Concesionario deberá realizar una simulación dinámica del comportamiento de la interfaz entre el pantógrafo y el hilo de contacto, conforme a las normas EN 50318 y EN 50119, y verificar la calidad de captación conforme a la norma EN 50367, considerando el rango de velocidades de operación y las condiciones de viento del corredor.

23.2 La interacción dinámica deberá garantizar la continuidad de la captación, la limitación del despegue del pantógrafo, el control de la fuerza media de contacto y de su desviación estándar, y la limitación del arco eléctrico, dentro de los umbrales admisibles de las normas aplicables.

23.3 El Concesionario deberá coordinar las características de la LATE con las del pantógrafo y la cadena de captación del Material Rodante, garantizando la plena compatibilidad dinámica y eléctrica del conjunto.

SECCIÓN 24 – SECCIONAMIENTOS, ZONAS NEUTRAS Y CONTINUIDAD DEL SERVICIO

24.1 El esquema de seccionamientos y subseccionamientos de la LATE deberá adaptarse al plano de vías diseñado por el Concesionario, con el fin de permitir la operación provisional en caso de falla del sistema de distribución de energía de tracción y de aislar tramos para labores de mantenimiento sin afectar la operación del resto de la línea.

24.2 El esquema de seccionamientos deberá definirse con criterio prestacional, vinculado a la operatividad de los bucles de alimentación y a la sectorización de la línea, sin fijar distancias máximas rígidas que limiten el diseño.

- 24.3 El diseño de los seccionamientos deberá garantizar la transición segura del pantógrafo, evitando interrupciones que comprometan la captación o generen arcos inadmisibles, y deberá ser coherente con la alimentación bilateral entre subestaciones.
- 24.4 La falla de una subestación de tracción no deberá impactar el servicio comercial del Proyecto, debiendo el esquema de seccionamientos y la capacidad de las subestaciones contiguas garantizar la continuidad del servicio conforme al criterio N-1.

SECCIÓN 25 – SOPORTES, POSTES Y CIMIENTOS DE LA LATE

- 25.1 La inserción de los soportes de la LATE podrá realizarse en posición central (en el eje de la plataforma), lateral simple o lateral doble, según las condiciones de cada tramo y minimizando el impacto sobre la operación y sobre el entorno.
- 25.2 El diseño de los soportes deberá minimizar el impacto visual, propender por la simetría y la homogeneización, y cumplir los siguientes criterios: dimensiones tan reducidas como sea posible considerando las restricciones climáticas; instalación simétrica de los postes en estaciones y en cruces viales, cuando las restricciones técnicas lo permitan; y altura homogénea entre postes, evitando postes aislados de gran altura.
- 25.3 El mástil de soporte de la LATE deberá ser homogéneo en color y forma. En las zonas urbanas se deberán emplear postes tipo cilindro-cónico, salvo justificación técnica aceptada.
- 25.4 Las cimentaciones de los postes de la LATE deberán diseñarse en interacción con la plataforma y la vía férrea, sin afectar las redes enterradas y de forma coherente con la reposición de interferencias de redes. Los requisitos estructurales y geotécnicos de las cimentaciones se rigen por el Apéndice Técnico 4 y 8.

SECCIÓN 26 – INDICADORES DE PRESENCIA DE TENSIÓN

- 26.1 Se deberá instalar un indicador de presencia de tensión en la LATE en cada seccionamiento y subseccionamiento. El diseño de los indicadores deberá permitir su visibilidad desde la cabina del conductor.
- 26.2 Los indicadores serán de tipo LED, estarán conectados a la subestación de rectificación mediante cable aislado resistente al fuego, y deberán proporcionar, como mínimo, la siguiente información:

- a) indicador encendido: 1.500 V (presencia de tensión);
- b) indicador parpadeando: 0 V (ausencia de tensión);
- c) indicador apagado: falla del indicador o estado desconocido.

CAPÍTULO VII – RETORNO DE CORRIENTE, PUESTA A TIERRA Y CORRIENTES VAGABUNDAS

SECCIÓN 27 – SISTEMA DE RETORNO DE CORRIENTE DE TRACCIÓN

- 27.1 El Concesionario deberá diseñar e implementar el sistema de retorno de la corriente de tracción, garantizando el retorno adecuado de la corriente a las subestaciones a través de los carriles y de los conductores de retorno que correspondan, en coordinación con la superestructura de vía definida en el Apéndice Técnico 5.
- 27.2 El sistema de retorno deberá ser compatible con el sistema de señalización (circuitos de vía u otros sistemas de detección de tren), garantizando la inmunidad necesaria y la ausencia de interferencias inadmisibles.
- 27.3 El diseño deberá considerar la continuidad eléctrica de los carriles, las conexiones equipotenciales, las juntas y los aparatos de vía, así como las condiciones de los tramos de vía en placa y en balasto.

SECCIÓN 28 – PUESTA EN TIERRA Y PROTECCIÓN DE LAS PERSONAS

- 28.1 El Concesionario deberá elaborar y aplicar un concepto integral de puesta a tierra para la totalidad de las instalaciones del Sistema de Energía, conforme a las normas EN 50122-1 y RETIE, garantizando la protección de las personas frente a tensiones de contacto y de paso.
- 28.2 El dimensionamiento del sistema de tracción deberá garantizar tensiones riel-suelo inferiores a los niveles definidos por la norma EN 50122-1, en condiciones normales y de falta.
- 28.3 El Concesionario deberá realizar estudios de puesta a tierra para todos los equipos de la LATE y de las subestaciones, conforme a la norma EN 50122. La definición y necesidad de pararrayos/autoválvulas formará parte de estos estudios. Se deberán prever descargadores

de sobretensiones para la protección frente a descargas atmosféricas y sobretensiones de maniobra, conformes a la norma EN 50122 y a las condiciones climáticas de Bogotá y la Sabana de Bogotá.

- 28.4 Se deberá garantizar la protección de las personas en las cercanías de conductores bajo tensión, incluyendo la prevención de contactos eléctricos directos con mobiliario, soportes mixtos de tracción/iluminación pública y envolventes metálicas próximas a la LATE.

SECCIÓN 29 – CONTROL DE CORRIENTES VAGABUNDAS Y PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

- 29.1 El Concesionario deberá diseñar e implementar las medidas necesarias para minimizar las corrientes vagabundas y sus efectos de corrosión sobre la infraestructura propia y de terceros, conforme a las normas EN 50122-2 y EN 50162.
- 29.2 Las medidas deberán incluir, según corresponda: el aislamiento de los carriles respecto de la plataforma; el control de la conductancia carril-tierra; los esquemas de puesta a tierra adecuados; y los dispositivos de monitoreo de corrientes vagabundas integrados al SCADA de Energía.
- 29.3 El diseño deberá ser particularmente cuidadoso con presencia de redes enterradas de terceros, debiendo el Concesionario coordinar las medidas de protección catódica y de mitigación que resulten necesarias.

SECCIÓN 30 – COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA (CEM)

- 30.1 El Sistema de Energía deberá cumplir los requisitos de compatibilidad electromagnética establecidos en la serie de normas EN 50121 (aplicación ferroviaria) y CEI/EN 61000, de modo que no genere perturbaciones inadmisibles sobre los sistemas de señalización, telecomunicaciones, recaudo e información al pasajero, ni sobre instalaciones de terceros.
- 30.2 El Concesionario deberá elaborar un plan de gestión de la compatibilidad electromagnética del Proyecto, identificando las fuentes de perturbación de la tracción en corriente continua y las medidas de mitigación, y verificar su cumplimiento mediante ensayos durante la puesta en servicio.

CAPÍTULO VIII – TELEMANDO Y GESTIÓN CENTRALIZADA DE LA ENERGÍA (SCADA)

SECCIÓN 31 – FUNCIONES DES SCADA DE ENERGÍA

- 31.1 El SCADA de Energía es la herramienta de apoyo a la gestión de los equipos electromecánicos y electrotécnicos del Sistema de Energía, que deberá permitir aumentar la reactividad ante disfuncionamientos, conocer el estado de los equipos e instalaciones, y elaborar estadísticas de disponibilidad.
- 31.2 El SCADA de Energía deberá contar con arquitectura redundante (configuración en alta disponibilidad con conmutación automática/failover) y con medidas de ciberseguridad acordes con la normativa aplicable, garantizando la continuidad de la supervisión y el telemando ante la falla de sus componentes.
- 31.3 El SCADA de Energía deberá permitir, como mínimo:
- a) la supervisión permanente, en tiempo real, de los equipos electromecánicos y electrotécnicos de la línea;
 - b) el control, en tiempo real, de determinados equipos (telemando);
 - c) el archivo y desarchivo de alarmas e información en tiempo diferido, la generación de estadísticas, la edición de bitácoras y la reproducción de eventos pasados;
 - d) la vigilancia del suministro de energía y la visualización, en tiempo real, de las porciones de línea bajo tensión;
 - e) la generación de gráficos animados de cambios de estado y alarmas técnicas y de operación.
- 31.4 La información y los medios de supervisión deberán estar disponibles para perfiles de usuario predeterminados (operadores de red y mantenedores, en particular), con control de acceso y trazabilidad.

SECCIÓN 32 – TELEMANDO, CONSIGNACIÓN Y CORTE DE EMERGENCIA

- 32.1 El SCADA de Energía deberá permitir, como mínimo, las siguientes operaciones de seguridad: el corte de emergencia ante incidente o accidente; la consignación de

instalaciones para la ejecución de obras durante la operación comercial; y el restablecimiento seguro del suministro normal a la mayor brevedad tras un incidente o accidente.

32.2 Las órdenes enviadas a través del SCADA hacia los equipos deberán ejecutarse bajo el principio de mando de control: cada orden deberá ir seguida de una respuesta de buena o mala ejecución del equipo, y tanto la orden como la respuesta deberán archivar en el sistema.

32.3 Los mandos locales disponibles deberán tener prioridad sobre los controles remotos, en particular para los equipos de energía y de seguridad.

32.4 El Concesionario deberá presentar a la Interventoría, para su No Objeción, la lista de elementos supervisados y controlados por el SCADA, que deberá incluir como mínimo los señalados en la tabla siguiente

Tabla 4. Elementos mínimos supervisados y controlados por el SCADA

Elemento a supervisar o controlar	Alcance mínimo
Equipamientos eléctricos en las SET	Incluyendo como mínimo: a) el suministro de las redes de media y/o alta tensión; b) los equipos de transformación y rectificación; c) las fuentes auxiliares; d) los interruptores de vía (<i>feeders</i>) y de la LATE
Equipamientos eléctricos en línea	Incluyendo como mínimo interruptores y relés
Equipamientos eléctricos de las alimentaciones auxiliares y de los sistemas SAI/UPS	Supervisión y control
Equipamientos de detección de incendio	En subestaciones, bloques técnicos y locales de operación
Sistemas de detección de inundación	En subestaciones y locales técnicos de energía
Estado de tensión de los tramos de la LATE	Porciones de línea bajo tensión
Dispositivos de monitoreo de corrientes vagabundas	Cuando apliquen

SECCIÓN 33 – DISOCIACIÓN ENERGÉTICA LÍNEA / PATIOS Y TALLERES

33.1 La gestión de la energía entre la línea y los patios-talleres deberá estar disociada, de tal modo que un incidente en la línea no afecte el funcionamiento de los patios-talleres y viceversa.

33.2 El SCADA de Energía deberá permitir la gestión independiente de la consignación y la energización de las vías de patio destinadas a operación o mantenimiento del Material Rodante, garantizando la seguridad del personal.

SECCIÓN 34 – DESEMPEÑO Y TIEMPOS DE RESPUESTA DEL SCADA

34.1 El SCADA de Energía deberá cumplir, como mínimo, los tiempos de respuesta indicados en la Tabla siguiente, sin perjuicio de los requisitos adicionales que resulten de los objetivos RAMS del Proyecto.

Tabla 5. Tiempos de respuesta mínimos del SCADA de Energía

Función	Tiempo de respuesta máximo
Generación de alarmas en el Centro de Control Operacional (CCO)	< 2 s
Ejecución de órdenes de telemando, incluyendo la confirmación de la orden	< 3 s
Actualización del estado de tensión de un tramo de la LATE	< 1 s
Ejecución de órdenes de corte de emergencia desde el CCO	< 1 s
Refresco de medidas y variables en tiempo real	≤ 1 s

34.2 El SCADA de Energía deberá generar un cuadro de información estadística por sistema gestionado (duración de funcionamiento, duración de parada, disponibilidad, número de arranques, número de averías, número de paradas de mantenimiento, entre otros), presentado en forma de tablas, curvas y diagramas, y considerando lo establecido en el Apéndice Técnico 3.

SECCIÓN 35 – MEDICIÓN Y GESTIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

35.1 El Concesionario deberá implementar un sistema de medición de energía que permita conocer y gestionar el consumo del Proyecto, diferenciando, como mínimo, la energía de tracción y la energía de cargas auxiliares.

35.2 La medición del consumo de energía en las estaciones deberá ser independiente, como mínimo, para: i) los equipos del sistema de recaudo y control de acceso; ii) las áreas

operacionales de la estación; iii) los espacios para material publicitario; y iv) cada uno de los espacios o locales comerciales, cuando el Concesionario decida implementarlos.

35.3 El sistema de medición deberá integrarse con el SCADA de Energía y permitir el seguimiento de los indicadores de eficiencia energética del Proyecto.

CAPÍTULO IX – DESEMPEÑO, DISPONIBILIDAD Y EFICIENCIA

SECCIÓN 36 – DISPONIBILIDAD Y MODOS DEGRADADOS (CRITERIO N-1)

36.1 El Sistema de Energía deberá alcanzar los objetivos de disponibilidad del sistema de transporte, de conformidad con los lineamientos del Apéndice Técnico 1, en el capítulo de RAMS.

36.2 En modo nominal, el Sistema de Energía deberá permitir alcanzar los intervalos de operación (headways) del sistema de transporte, aprobados en el Plan Operativo del Concesionario.

36.3 En modo degradado, el Sistema de Energía no deberá provocar perturbación de la operación comercial en el momento en que se produzca el disfuncionamiento (hora pico, irregularidad de intervalo, carga máxima de los vehículos, auxiliares en marcha). En particular, el desempeño de los vehículos deberá mantenerse ante la pérdida de una subestación de tracción (criterio N-1), absorbiendo las subestaciones contiguas la potencia perdida.

36.4 El sistema deberá permitir el remolque de un tren en cualquier punto de la línea y el desarrollo de los servicios provisionales previstos por la operación.

SECCIÓN 37 – EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

37.1 El Concesionario deberá optimizar la eficiencia energética del Sistema de Energía, maximizando el aprovechamiento de la energía de frenado, minimizando las pérdidas en la cadena de tracción y empleando equipos de alta eficiencia.

37.2 El Concesionario deberá identificar e implementar medidas de sostenibilidad coherentes con los objetivos ambientales del Proyecto, incluyendo, cuando resulte viable, la integración de soluciones de almacenamiento de energía y de gestión de la demanda.

CAPÍTULO X – REQUISITOS DE EJECUCIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO

SECCIÓN 38 – CONTROL DE MATERIALES Y COMPONENTES

- 38.1 El Concesionario deberá garantizar que la totalidad de los materiales y componentes del Sistema de Energía cuenten con la certificación de conformidad aplicable y cumplan las normas técnicas establecidas en el Apéndice Técnico 2.
- 38.2 Todos los aisladores deberán cumplir, según corresponda, las normas IEC 60060, IEC 62497-1, IEC 62497-2, EN 50124, EN 50151 y EN 50345. La aparamenta de corriente continua deberá cumplir la norma EN 50123.
- 38.3 El Concesionario deberá implementar un plan de control de calidad de recepción de materiales y componentes, con trazabilidad documentada, que se integrará al sistema de gestión de información del Proyecto, de acuerdo con el Apéndice Técnico 3.

SECCIÓN 39 – PRUEBAS, ENSAYOS Y VALIDACIÓN

- 39.1 El Concesionario deberá ejecutar un programa de pruebas y ensayos que verifique el cumplimiento de los requisitos del presente Apéndice, incluyendo, como mínimo: pruebas de las subestaciones (transformación, rectificación, protecciones); pruebas de la LATE (geometría, tensión mecánica, aislamiento); ensayos de puesta a tierra y de tensiones riel-suelo; pruebas de corrientes vagabundas; ensayos de compatibilidad electromagnética; pruebas dinámicas de la interfaz pantógrafo–hilo de contacto; y pruebas integradas del SCADA de Energía.
- 39.2 El Concesionario deberá entregar los protocolos de prueba, los criterios de aceptación y los registros de resultados como evidencia verificable del cumplimiento, que se someterán a la No Objeción por parte de la Interventoría.
- 39.3 La verificación del cumplimiento de los requisitos de seguridad deberá ser coherente con el régimen de evaluación de conformidad, certificación y Safety Case definido en el Apéndice Técnico 17 y con los objetivos RAMS del Proyecto.

SECCIÓN 40 – ENERGIZACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO

- 40.1 La energización de las instalaciones deberá realizarse conforme a procedimientos de seguridad documentados y conforme la EN50110-1 y NTC 2050, garantizando la protección del personal, de los usuarios y de terceros, y la trazabilidad de las consignaciones y autorizaciones.
- 40.2 Dicho procedimiento deberá definir, al menos:
- a) La autoridad responsable de autorizar la energización
 - b) La entidad responsable de ejecutar la maniobra de energización
 - c) El método y procedimientos de comunicación de la autorización
 - d) Las verificaciones previas requeridas antes de la energización
 - e) La relación de equipos y sistemas involucrados
 - f) Los riesgos y las medidas de control asociadas
 - g) El registro y trazabilidad del proceso
- 40.3 El Concesionario deberá acreditar, previo a la puesta en servicio comercial, que el Sistema de Energía cumple la totalidad de los requisitos del presente Apéndice y que se han subsanado las no conformidades identificadas durante las pruebas.
- 40.4 En ningún caso el Concesionario podrá iniciar la operación formal del sistema hasta que se haya demostrado, conforme a la normativa aplicable, el correcto funcionamiento del sistema.

CAPÍTULO XI – REQUISITOS EN FASE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

SECCIÓN 41 – PRINCIPIOS GENERALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

- 41.1 Sin perjuicio de lo establecido en el Apéndice Técnico 16, el Concesionario deberá operar y mantener el Sistema de Energía durante toda la vigencia de la Concesión, garantizando la continuidad, seguridad y disponibilidad del servicio, y conservando los activos en condiciones de cumplir los requisitos del Contrato.

- 41.2 El Concesionario deberá disponer de los procedimientos, recursos, repuestos y equipos especializados necesarios para la operación y el mantenimiento del Sistema de Energía, incluyendo la atención de emergencias y la restitución del servicio en los plazos exigidos.
- 41.3 Las actividades de mantenimiento de la LATE y de las instalaciones de energía deberán coordinarse con la ventana nocturna de mantenimiento

SECCIÓN 42 – INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA LATE

- 42.1 El Concesionario deberá implementar un programa de inspección y mantenimiento de la LATE que incluya, como mínimo: el control del desgaste del hilo de contacto; la verificación de la geometría (altura y descentramiento); el control de la tensión mecánica y de los dispositivos de compensación; la inspección de soportes, ménsulas y herrajes; y la medición periódica de la calidad de captación.
- 42.2 El control del desgaste del hilo de contacto se realizará mediante calibre de desgaste, con reemplazo obligatorio al alcanzar el 20% de desgaste de sección. El Concesionario deberá disponer de vehículos y equipos especializados para el mantenimiento de la LATE/catenaria.
- 42.3 El Concesionario deberá definir los umbrales de alerta y de intervención, así como los límites de acción inmediata que impliquen restricciones operativas o cierre por seguridad, coherentes con la velocidad de operación por tramos y con los objetivos RAMS definidos de acuerdo con el Apéndice Técnico 1.
- 42.4 El conjunto de los equipos de la LATE deberá poder repararse tras una avería puntual dentro de la ventana nocturna de mantenimiento, sin afectar la operación comercial del servicio.

SECCIÓN 43 – MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES Y EQUIPOS DE ENERGÍA

- 43.1 El Concesionario deberá implementar un programa de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de las subestaciones y de los equipos de energía, apoyado en la información de supervisión del SCADA de Energía.

43.2 El mantenimiento deberá garantizar la conservación de la capacidad de sobrecarga, de las funciones de protección y de la capacidad de operación en modo degradado, sin degradar los niveles de seguridad eléctrica de las personas.

SECCIÓN 44 – GESTIÓN DE ACTIVOS Y OBSOLESCENCIA

44.1 El Concesionario deberá gestionar los activos del Sistema de Energía conforme a las buenas prácticas de gestión de activos y de forma coherente con el Apéndice Técnico 3, manteniendo actualizado el inventario digital de activos y la información de mantenimiento.

44.2 El Concesionario deberá implementar un plan de gestión de obsolescencia para los equipos electrotécnicos y para el hardware y software del SCADA de Energía, asegurando la disponibilidad de repuestos y soporte durante la vigencia de la Concesión y las renovaciones necesarias.