

Contrato de Concesión No.

Apéndice Técnico 10

Señalización, Control y Protección de Trenes



Gobernación de
Cundinamarca

Tabla de contenido

<i>Tabla de contenido</i>	2
CAPÍTULO I – DISPOSICIONES GENERALES	4
SECCIÓN 1 – OBJETO	4
SECCIÓN 2 – DELIMITACIÓN ENTRE EL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN Y LAS DEMÁS DISCIPLINAS	5
SECCIÓN 3 – OBLIGACIONES DE RESULTADO	5
SECCIÓN 4 – ARQUITECTURA FUNCIONAL DEL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN	6
SECCIÓN 5 – RESILIENCIA	7
CAPÍTULO II – ARQUITECTURA Y PRINCIPIOS DE SEÑALIZACIÓN	8
SECCIÓN 6 – ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA	8
SECCIÓN 7 – FUNCIONES FUNDAMENTALES DE SEGURIDAD	9
SECCIÓN 8 – PRINCIPIOS DE OPERACIÓN Y MODOS DE CONDUCCIÓN	9
SECCIÓN 9 – CAPACIDAD Y DESEMPEÑO OPERACIONAL	10
SECCIÓN 10 – CONDICIONES AMBIENTALES Y DE INSTALACIÓN	10
CAPÍTULO III – PROTECCIÓN AUTOMÁTICA DE TRENES (ATP)	11
SECCIÓN 11 – FUNCIONES DE LA PROTECCIÓN AUTOMÁTICA DE TRENES	11
SECCIÓN 12 – CONTROL DE VELOCIDAD Y SUPERVISIÓN DE LA MARCHA	11
SECCIÓN 13 – DETECCIÓN DE TRENES	12
SECCIÓN 14 – TRANSICIONES Y COMPATIBILIDAD DE EQUIPOS EMBARCADOS	12
CAPÍTULO IV – ENCLAVAMIENTO (INTERLOCKING)	13
SECCIÓN 15 – FUNCIONES DEL ENCLAVAMIENTO	13
SECCIÓN 16 – ENCLAVAMIENTO DE SENTIDO Y CIRCULACIÓN BIDIRECCIONAL	13
SECCIÓN 17 – GESTIÓN DE RUTAS, ITINERARIOS, DESLIZAMIENTO Y APARATOS DE VÍA	14
SECCIÓN 18 – ENCLAVAMIENTO EN PATIOS Y TALLERES	15
CAPÍTULO V – CONDUCCIÓN AUTOMÁTICA (ATO) Y GRADO DE AUTOMATIZACIÓN	15
SECCIÓN 19 – FUNCIONES DE CONDUCCIÓN AUTOMÁTICA (ATO)	15
SECCIÓN 20 – GRADO DE AUTOMATIZACIÓN (GoA)	15
CAPÍTULO VI – GESTIÓN CENTRALIZADA DEL TRÁFICO Y APOYO A LA OPERACIÓN (ATS)	16
SECCIÓN 21 – FUNCIONES DEL SISTEMA DE APOYO A LA OPERACIÓN (ATS)	16
SECCIÓN 22 – FORMACIÓN AUTOMÁTICA DE ITINERARIOS Y REGULACIÓN	16
SECCIÓN 23 – LOCALIZACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LOS TRENES	17

SECCIÓN 24 – GESTIÓN DE PERTURBACIONES Y MODOS DEGRADADOS _____	17
SECCIÓN 25 – DIAGNÓSTICO, MONITOREO Y GESTIÓN DE FALLAS _____	18
CAPÍTULO VII – PASOS A NIVEL E INTERSECCIONES VIALES _____	18
SECCIÓN 26 – SEÑALIZACIÓN Y PROTECCIÓN DE PASOS A NIVEL CON BARRERAS (SIB) _____	18
SECCIÓN 27 – DESEMPEÑO Y SEGURIDAD DE LOS PASOS A NIVEL _____	20
SECCIÓN 28 – DETECCIÓN DE TRENES Y MANDO LOCAL DE BARRERAS _____	20
SECCIÓN 29 – COORDINACIÓN CON LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE TRÁFICO VIAL _____	21
CAPÍTULO VIII – COMUNICACIONES DE SEGURIDAD Y CIBERSEGURIDAD _____	22
SECCIÓN 30 – COMUNICACIONES DE SEGURIDAD _____	22
SECCIÓN 31 – CIBERSEGURIDAD DEL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN _____	22
CAPÍTULO IX – SEGURIDAD FUNCIONAL Y RAMS _____	22
SECCIÓN 32 – GESTIÓN DE LA SEGURIDAD, SIL Y EVALUACIÓN INDEPENDIENTE _____	23
SECCIÓN 33 – SOFTWARE Y SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE SEGURIDAD _____	23
SECCIÓN 34 – FIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD _____	24
CAPÍTULO X – EJECUCIÓN, INTEGRACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO _____	24
SECCIÓN 35 – CONTROL DE MATERIALES Y COMPONENTES _____	24
SECCIÓN 36 – PRUEBAS, ENSAYOS Y VALIDACIÓN _____	24
SECCIÓN 37 – PUESTA EN SERVICIO Y AUTORIZACIÓN DE ENTRADA EN SERVICIO _____	25
CAPÍTULO XI – REQUISITOS EN FASE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO _____	25
SECCIÓN 38 – PRINCIPIOS GENERALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO _____	25
SECCIÓN 39 – MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN _____	25
SECCIÓN 40 – GESTIÓN DE CONFIGURACIÓN, SOFTWARE Y OBSOLESCENCIA _____	26
SECCIÓN 41 – INDICADORES DE DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN _____	27

CAPÍTULO I – DISPOSICIONES GENERALES

SECCIÓN 1 – OBJETO

- 1.1 El presente Apéndice establece las obligaciones y los requisitos técnicos, funcionales, operacionales y de seguridad aplicables al Sistema de Señalización, Control y Protección de Trenes del Proyecto, comprendiendo la protección automática de trenes (ATP), el enclavamiento, la detección de trenes, la gestión centralizada del tráfico y apoyo a la operación (ATS), la conducción automática (ATO), la señalización y protección de los pasos a nivel e intersecciones viales, y las comunicaciones de seguridad asociadas, durante su diseño, construcción, integración, pruebas, puesta en servicio, operación, mantenimiento, renovación, reposición y reversión a lo largo de toda la vigencia de la Concesión.
- 1.2 El presente Apéndice define los principios de operación, las funciones de seguridad, los requisitos de desempeño y capacidad, y los criterios de aceptación que permitirán verificar el cumplimiento de las obligaciones del Concesionario, así como las normas y especificaciones técnicas aplicables, garantizando la circulación segura de los trenes y el cumplimiento de los requisitos de capacidad, desempeño y operación establecidos en el Contrato.
- 1.3 El Sistema de Señalización deberá ser compatible, durante todas las fases de su ciclo de vida, con: a) las características técnicas del Apéndice Técnico 1 y la infraestructura civil del Apéndice Técnico 4; b) la superestructura de vía y los aparatos de vía del Apéndice Técnico 5; c) el Material Rodante del Apéndice Técnico 15; d) el sistema de energía y la compatibilidad electromagnética del Apéndice Técnico 9; e) las telecomunicaciones ferroviarias del Apéndice Técnico 11; f) el Centro de Control Operacional del Apéndice Técnico 12; g) los objetivos RAMS del Apéndice Técnico 1; y h) los demás Apéndices del Contrato.
- 1.4 El presente Apéndice establece requisitos mínimos y obligatorios. El Concesionario será responsable de desarrollar todos los elementos, funciones y soluciones técnicas necesarias para alcanzar los resultados exigidos por el Contrato, aun cuando no se encuentren expresamente descritos en el presente Apéndice.

SECCIÓN 2 – DELIMITACIÓN ENTRE EL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN Y LAS DEMÁS DISCIPLINAS

- 2.1 El presente Apéndice regula los requisitos aplicables al Sistema de Señalización, Control y Protección de Trenes, entendido como el conjunto de equipos, sistemas y funciones destinados a garantizar el espaciamiento seguro, el establecimiento de rutas, la protección de la marcha de los trenes, la gestión del tráfico y la protección de los cruces viales.
- 2.2 El Sistema de Señalización, Control y Protección de Trenes comprende, como mínimo:
- a) el sistema de protección automática de trenes (ATP) y de conducción automática (ATO);
 - b) el enclavamiento (interlocking) y la gestión de rutas y aparatos de vía;
 - c) el sistema de detección de trenes (circuitos de vía, contadores de ejes u otra tecnología equivalente);
 - d) el sistema de gestión centralizada del tráfico y apoyo a la operación (ATS), incluyendo la formación automática de itinerarios y la regulación;
 - e) los equipos embarcados de señalización asociados a las funciones ATP/ATO y su interfaz con el conductor;
 - f) la señalización y protección de los pasos a nivel e intersecciones viales;
 - g) detección de intrusión y caída de objetos
 - h) las comunicaciones de seguridad y los elementos de ciberseguridad propios del sistema de señalización;
 - i) todos los elementos auxiliares necesarios para garantizar el desempeño integral del sistema.
- 2.3 El Concesionario es responsable del cumplimiento de los resultados operacionales, funcionales, de seguridad y de desempeño establecidos en el Contrato. La existencia de interfaces entre disciplinas no fragmentará dicha responsabilidad.

SECCIÓN 3 – OBLIGACIONES DE RESULTADO

- 3.1 Las obligaciones del presente Apéndice constituyen obligaciones de resultado. El Concesionario deberá entregar un Sistema de Señalización, Control y Protección de Trenes completo, integrado, certificado y plenamente funcional, capaz de garantizar la circulación

segura de los trenes y la capacidad de transporte definida en el Contrato y sus Apéndices, conforme a las especificaciones y normas técnicas aplicables.

3.2 El Concesionario será responsable del diseño, suministro, instalación, integración, pruebas, validación de seguridad, puesta en servicio, operación y mantenimiento de la totalidad de los sistemas indicados en el presente Apéndice, así como de la obtención de las certificaciones y autorizaciones de seguridad aplicables, de acuerdo con lo establecido en el Contrato y sus Apéndices.

3.3 La enumeración de componentes del presente Apéndice no limita la obligación del Concesionario de ejecutar cualquier elemento o función adicional que resulte técnica o funcionalmente necesario para alcanzar los resultados exigidos, aun cuando dicho elemento no se encuentre expresamente identificado en el presente Apéndice.

SECCIÓN 4 – ARQUITECTURA FUNCIONAL DEL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN

4.1 Corresponderá al Concesionario definir la arquitectura tecnológica del Sistema de Señalización, Control y Protección de Trenes, siempre que la solución propuesta garantice el cumplimiento de los requisitos normativos, funcionales, operacionales, de capacidad, disponibilidad, mantenibilidad, interoperabilidad y seguridad establecidos en el Contrato y en el presente Apéndice, y como mínimo las funciones de la Tabla 1.

Tabla 1. Funciones mínimas del Sistema de Señalización

Función	Requisito mínimo
Protección automática de trenes (ATP)	Supervisión continua de velocidad y autoridad de movimiento en toda la línea principal
Enclavamiento	Enclavamiento electrónico (computer-based interlocking), con nivel de integridad SIL 4 para las funciones vitales
Gestión del tráfico	Sistema ATS centralizado
Detección de trenes	Tecnología segura conforme al principio fail-safe y a las normas aplicables
Equipos embarcados	Compatibles con la solución de señalización propuesta y con la totalidad de la flota
Comunicaciones de seguridad	Conforme a EN 50159 o norma equivalente aplicable según el Apéndice Técnico 2
Conducción automática (ATO)	Grado de automatización GoA2, bajo supervisión permanente del ATP

- 4.2 Toda propuesta deberá sustentarse mediante los Estudios y Diseños, simulaciones operacionales, análisis RAMS, Safety Case y demás documentos técnicos requeridos, y someterse al procedimiento de gestión documental aplicable de acuerdo con el Apéndice Técnico 3, siguiendo la secuencia de propuesta del Concesionario, No Objeción de la Interventoría y, cuando corresponda, ejercicio del Derecho de Oposición por parte de la EFR.
- 4.3 En ningún caso una propuesta podrá reducir los niveles mínimos de seguridad funcional, la capacidad de operación, ni la integridad de las funciones relacionadas con la seguridad establecidos en el presente Apéndice.
- 4.4 El Concesionario deberá considerar el horizonte de diseño del Proyecto, los requisitos de reversión, las previsiones de crecimiento de demanda, capacidad y flota, y la evolución tecnológica, conforme a lo establecido en el Contrato.

SECCIÓN 5 – RESILIENCIA

- 5.1 El Sistema de Señalización deberá concebirse bajo el principio de seguridad intrínseca (fail-safe), de modo que cualquier falla conduzca el sistema a un estado seguro sin comprometer la seguridad de la circulación.
- 5.2 El diseño deberá incorporar redundancia, segregación y capacidad de reconfiguración suficientes para mantener la continuidad de la operación ante la pérdida de un elemento singular del sistema, y deberá prever modos degradados que permitan la operación en condiciones controladas de seguridad, de acuerdo con lo establecido en el presente Apéndice y en los demás documentos contractuales. El Concesionario definirá y justificará los niveles mínimos de redundancia y de disponibilidad por subsistema en los Estudios y Diseños, de forma coherente con los lineamientos RAMS del Apéndice Técnico 1, sin que ningún elemento singular pueda comprometer las funciones de seguridad.
- 5.3 El sistema deberá ser robusto frente a las condiciones ambientales del corredor (temperatura, humedad, niebla, descargas atmosféricas) y frente a las perturbaciones electromagnéticas del sistema de tracción en corriente continua, conforme al Apéndice Técnico 9.

CAPÍTULO II – ARQUITECTURA Y PRINCIPIOS DE SEÑALIZACIÓN

SECCIÓN 6 – ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA

- 6.1 El Sistema de Señalización, Control y Protección de Trenes deberá soportar todas las modalidades de operación previstas para el Proyecto, garantizando en cada una de ellas el cumplimiento de los requisitos de seguridad, capacidad y desempeño establecidos en el Contrato.
- 6.2 Como mínimo, el Sistema deberá soportar las siguientes modalidades de operación: a) operación comercial en condiciones normales; b) operación en modo degradado; c) maniobras en patios y talleres; d) ingreso y salida de patios y talleres; e) circulación en sentido contrario cuando resulte requerida operacionalmente; f) pruebas y puesta en servicio; g) recuperación de la operación después de incidentes; y h) mantenimiento de la infraestructura ferroviaria.
- 6.3 Para cada modalidad de operación el Concesionario deberá definir las funciones disponibles, las restricciones operacionales, las velocidades máximas, las responsabilidades operativas y las condiciones para retornar al modo normal. Esta definición se someterá a la revisión y No Objeción de la Interventoría.
- 6.4 La transición entre modos de operación deberá realizarse de forma controlada, registrarse automáticamente y garantizar y preservar en todo momento las funciones relacionadas con la seguridad.
- 6.5 El Sistema de Señalización deberá estructurarse, como mínimo, en los siguientes subsistemas funcionales: protección automática de trenes (ATP); conducción automática (ATO); enclavamiento; detección de trenes; gestión centralizada del tráfico y apoyo a la operación (ATS); equipos embarcados; y protección de pasos a nivel.
- 6.6 La arquitectura deberá garantizar la separación entre las funciones vitales (relacionadas con la seguridad) y las funciones no vitales (de apoyo a la operación), asegurando que las funciones de seguridad no dependan de la disponibilidad de las funciones no vitales.
- 6.7 El Concesionario deberá presentar la arquitectura funcional y física del sistema, los principios de seguridad y los esquemas de interfaz, que se someterán a la No Objeción de la Interventoría.

6.8 Los equipos de señalización de vía deberán agruparse, en la medida de lo posible, en bloques técnicos comunes, próximos a las subestaciones u otros locales técnicos.

SECCIÓN 7 – FUNCIONES FUNDAMENTALES DE SEGURIDAD

7.1 El Sistema de Señalización deberá asegurar, como mínimo, las siguientes funciones fundamentales:

- a) garantizar la protección de las circulaciones en las zonas de maniobra, comunicaciones y conexiones;
- b) garantizar el espaciamiento seguro de las circulaciones para evitar el alcance entre trenes sobre una misma vía;
- c) arbitrar de forma segura las circulaciones convergentes sobre una misma vía, incluidas las vías banalizadas y las zonas de retorno;
- d) prevenir el descarrilamiento por exceso de velocidad, en particular en curvas, aparatos de vía y zonas de velocidad restringida;
- e) garantizar la protección segura de los pasos a nivel e intersecciones viales;
- f) conducir el sistema a un estado seguro ante cualquier falla (principio fail-safe).

7.2 El Concesionario deberá identificar y clasificar los riesgos asociados al diseño, la construcción y la operación del sistema, a lo largo de todo el ciclo de vida del Proyecto, y adaptar el diseño en función de los análisis de riesgos.

SECCIÓN 8 – PRINCIPIOS DE OPERACIÓN Y MODOS DE CONDUCCIÓN

8.1 La operación nominal de la línea deberá realizarse bajo protección automática y continua de la marcha de los trenes (ATP), garantizando el respeto de las velocidades autorizadas y de las autoridades de movimiento en toda la línea principal. Los principios de conducción se coordinan con el Apéndice Técnico 15 y con el Apéndice Técnico 16.

8.2 El sistema deberá prever modos degradados de conducción que permitan mantener la operación en condiciones controladas de seguridad ante la indisponibilidad parcial del sistema, incluyendo, según corresponda, la conducción a la vista (marcha a la vista) bajo restricciones de velocidad y procedimientos específicos.

8.3 En las vías de patios y talleres, la circulación podrá gestionarse mediante enclavamiento con señalización lateral, sin control automático de velocidad ni protección automática, salvo

en los accesos a la vía principal (gestión de entradas y salidas), que deberán quedar protegidos.

- 8.4 Las transiciones entre zonas con distintos modos de protección deberán señalizarse de forma inequívoca y gestionarse de manera segura, sin pérdida de protección durante la transición.

SECCIÓN 9 – CAPACIDAD Y DESEMPEÑO OPERACIONAL

- 9.1 El Sistema de Señalización deberá dimensionarse para garantizar, como mínimo, la capacidad y los niveles de servicio definidos para el Proyecto.
- 9.2 El sistema se diseñará bajo el principio de escalabilidad, con una arquitectura modular y con la capacidad de hardware instalada necesaria para atender los escenarios de expansión previstos, activable por software y sin intervenir la lógica SIL 4 de protección. El sistema deberá ser compatible con las condiciones de operación al inicio del servicio y con los objetivos de intervalo (headway) a largo plazo, debiendo poder extenderse y evolucionar sin necesidad de un nuevo diseño y sin alterar las funciones de protección de trenes. Las actualizaciones necesarias para alcanzar los objetivos de intervalo son responsabilidad del Concesionario.

SECCIÓN 10 – CONDICIONES AMBIENTALES Y DE INSTALACIÓN

- 10.1 Los equipos de señalización deberán diseñarse para instalarse y funcionar en todos los tipos de plataforma y de revestimiento del corredor, sin que su funcionamiento se vea afectado por las condiciones ambientales (temperatura, humedad, niebla, choques accidentales, presencia de vegetación o riego en zonas de vía en césped).
- 10.2 Los equipos y los armarios exteriores deberán cumplir las condiciones ambientales aplicables a los sistemas de señalización conforme a la normativa aplicable según el Apéndice Técnico 2, particularmente la norma EN 50125-3, considerando la altitud de operación del orden de 2.650 m s. n. m. y el nivel de la Sabana de Bogotá para el diseño de la protección contra sobretensiones.
- 10.3 Los equipos deberán contar con un grado de protección (IP) adecuado a su ubicación y con las protecciones necesarias frente a descargas atmosféricas y perturbaciones eléctricas.

- 10.4 El sistema deberá ser robusto frente a las condiciones ambientales del corredor, incluyendo temperatura, humedad, niebla, descargas atmosféricas y perturbaciones electromagnéticas derivadas del sistema de tracción eléctrica, conforme a lo establecido en el Apéndice Técnico 9.

CAPÍTULO III – PROTECCIÓN AUTOMÁTICA DE TRENES (ATP)

SECCIÓN 11 – FUNCIONES DE LA PROTECCIÓN AUTOMÁTICA DE TRENES

- 11.1 El sistema de protección automática de trenes (ATP) deberá prevenir los errores humanos de conducción y garantizar la circulación segura, contando, como mínimo, con:
- a) un control automático de la velocidad, puntual o continuo, que impida la superación de la velocidad autorizada;
 - b) un control automático del respeto de las autoridades de movimiento y de las señales;
 - c) la protección frente a rebases no autorizados del punto de parada autorizado;
 - d) la supervisión del espaciamiento (cantonamiento) entre trenes.
- 11.2 El sistema ATP deberá proporcionar supervisión continua de la marcha de los trenes en toda la línea principal. El Concesionario definirá la arquitectura tecnológica específica para implementar dicha supervisión, justificando su compatibilidad con los requisitos de capacidad, seguridad y desempeño del Proyecto.
- 11.3 El sistema deberá complementarse, como mínimo, con un sistema de vigilancia del paso de las señales o de los puntos de parada, que registre y notifique al Centro de Control Operacional cualquier incidencia.

SECCIÓN 12 – CONTROL DE VELOCIDAD Y SUPERVISIÓN DE LA MARCHA

- 12.1 El sistema deberá supervisar de forma continua la velocidad del tren frente a la curva de velocidad autorizada, considerando el perfil de la vía, las pendientes (incluida la rampa determinante del 5 %), las restricciones temporales y permanentes de velocidad, y las características de frenado del Material Rodante.
- 12.2 Ante la superación de los umbrales de supervisión, el sistema deberá aplicar de forma automática la intervención necesaria (alerta, freno de servicio o freno de emergencia, según corresponda), garantizando la detención del tren dentro de la distancia segura disponible.

- 12.3 El sistema deberá gestionar de forma segura las restricciones temporales de velocidad asociadas a trabajos de mantenimiento o a situaciones degradadas, garantizando su aplicación efectiva a bordo.

SECCIÓN 13 – DETECCIÓN DE TRENES

- 13.1 El Concesionario deberá implementar un sistema de detección de trenes que garantice, de forma segura y conforme al principio fail-safe, la determinación de la presencia, ocupación y liberación de las secciones de vía, mediante circuitos de vía, contadores de ejes u otra tecnología equivalente, debidamente justificada. El sistema deberá, como mínimo, detectar la presencia del tren, liberar la sección una vez desocupada, fallar a estado seguro ante cualquier anomalía y proporcionar la granularidad requerida.
- 13.2 El sistema deberá proporcionar una granularidad de detección compatible con los requisitos de capacidad, desempeño operacional y seguridad definidos en el Contrato.
- 13.3 Ante cualquier pérdida de información, inconsistencia o falla del sistema de detección, la sección afectada deberá considerarse ocupada hasta que se restablezcan las condiciones seguras de operación mediante los procedimientos establecidos.
- 13.4 El sistema de detección deberá ser compatible con el sistema de retorno de corriente de tracción y con el Material Rodante. Cuando se empleen circuitos de vía, los ejes del Material Rodante deberán garantizar el cortocircuito (shunt) de los circuitos de vía. La compatibilidad con la tracción en corriente continua y el aislamiento de vía se coordinarán con los Apéndices Técnicos 5 y 9.
- 13.5 El diseño de la detección de trenes deberá considerar la inmunidad frente a las corrientes de tracción y armónicos, así como las condiciones de vía en placa y en balasto del corredor.

SECCIÓN 14 – TRANSICIONES Y COMPATIBILIDAD DE EQUIPOS EMBARCADOS

- 14.1 Los equipos embarcados de señalización deberán ser compatibles con la totalidad de la flota y garantizar una operación homogénea en toda la línea. Todas las unidades deberán presentar características uniformes y bidireccionales, y la señalización deberá permitir la circulación en composiciones de unidades múltiples, cuando esa sea la configuración adoptada para el Material Rodante.

- 14.2 Las transiciones entre zonas equipadas con distintas funciones o niveles de protección deberán gestionarse de forma segura y transparente para el conductor, sin pérdida de la protección de la marcha del tren.
- 14.3 La integración de los equipos embarcados (unidades de a bordo, odometría, antenas, interfaz hombre-máquina del conductor) se coordinará con el Apéndice Técnico 15, garantizando la plena compatibilidad funcional y de seguridad.

CAPÍTULO IV – ENCLAVAMIENTO (INTERLOCKING)

SECCIÓN 15 – FUNCIONES DEL ENCLAVAMIENTO

- 15.1 El enclavamiento deberá garantizar el establecimiento, la verificación y la liberación seguros de las rutas, controlando de forma vital los aparatos de vía, las señales y la detección de trenes, e impidiendo el establecimiento de rutas incompatibles o inseguras.
- 15.2 El enclavamiento deberá controlar y regular el movimiento de los trenes proporcionando los medios para cumplir los requerimientos de transporte entre dos puntos de la línea, en coherencia con las características de circulación definidas.
- 15.3 La operación, supervisión y control del enclavamiento deberá realizarse desde el Centro de Control Operacional (CCO). El sistema deberá permitir, además, mandos locales desde un dispositivo a pie de señal o equivalente, debidamente protegidos.
- 15.4 El sistema deberá utilizar enclavamientos electrónicos (computer-based interlocking), de diseño modular, que permitan la recuperación y la modificación controlada del software y de los parámetros, así como la extensión del sistema sin un nuevo diseño.
- 15.5 Los enclavamientos electrónicos deberán ser compatibles con la solución de señalización adoptada y permitir ampliaciones futuras.
- 15.6 El sistema y sus enclavamientos deberán disponer de la redundancia necesaria para garantizar el nivel de integridad SIL 4 de las funciones vitales.

SECCIÓN 16 – ENCLAVAMIENTO DE SENTIDO Y CIRCULACIÓN BIDIRECCIONAL

- 16.1 En los tramos con circulación en doble sentido, el sistema deberá proteger las circulaciones garantizando que no se autoricen rutas en sentido contrario sobre la misma vía entre dos zonas de maniobra (enclavamiento de sentido).

- 16.2 El enclavamiento de sentido y su interfaz con los enclavamientos colaterales deberán controlar y regular el movimiento de los trenes de forma segura, permitiendo la operación en contrasentido cuando una vía esté indisponible, sin comprometer la seguridad.
- 16.3 El sistema deberá permitir la instalación permanente de contrasentido en los tramos donde la operación nominal o degradada así lo requiera, conforme a la configuración operacional del Proyecto.

SECCIÓN 17 – GESTIÓN DE RUTAS, ITINERARIOS, DESLIZAMIENTO Y APARATOS DE VÍA

- 17.1 El Sistema de Enclavamiento deberá gestionar de forma automática y segura el establecimiento, mantenimiento, modificación y liberación de rutas ferroviarias.
- 17.2 Como mínimo, el Sistema deberá garantizar: a) el establecimiento seguro de rutas; b) la verificación previa de compatibilidades; c) la protección de flancos; d) el bloqueo de rutas incompatibles; e) la detección de ocupación antes del establecimiento de rutas; f) la liberación automática de rutas una vez cumplidas las condiciones establecidas; g) la cancelación segura de rutas; y h) el establecimiento de rutas para maniobras cuando corresponda.
- 17.3 El establecimiento y cancelación de rutas podrá efectuarse desde el Centro de Control Operacional o desde los puestos de control autorizados, cuando sea necesario. En ningún caso el Sistema permitirá el establecimiento simultáneo de rutas incompatibles.
- 17.4 El enclavamiento deberá gestionar de forma segura los aparatos de vía (motorización, control y cierre de agujas), garantizando su posición correcta y enclavada antes de autorizar el movimiento.
- 17.5 El plan de implantación deberá considerar la distancia de deslizamiento (overlap) como margen de seguridad adicional al crear una ruta, en previsión de un eventual rebase no autorizado de la señal de fin de ruta.
- 17.6 En las zonas de maniobra, la señalización deberá permitir los movimientos necesarios para la operación nominal y degradada (señales luminosas, detección de trenes, motorización y control de los aparatos de vía adaptados a las maniobras), proporcionando, como mínimo, la información de parada absoluta cuando la ruta no esté establecida y de autorización de paso cuando la ruta esté establecida.

SECCIÓN 18 – ENCLAVAMIENTO EN PATIOS Y TALLERES

- 18.1 En los patios-talleres, el sistema de señalización y control podrá gestionarse mediante enclavamiento con señales laterales sin control automático de velocidad ni protección automática, salvo en los accesos a la vía principal, que deberán quedar protegidos y gestionados de forma segura. La coordinación con las instalaciones de mantenimiento se rige por el Apéndice Técnico 7.
- 18.2 El sistema deberá supervisar y gestionar de forma segura las entradas y salidas de trenes entre los patios-talleres y la línea principal, garantizando la protección de los movimientos en la interfaz.

CAPÍTULO V – CONDUCCIÓN AUTOMÁTICA (ATO) Y GRADO DE AUTOMATIZACIÓN

SECCIÓN 19 – FUNCIONES DE CONDUCCIÓN AUTOMÁTICA (ATO)

- 19.1 El Proyecto exige un grado de automatización que implica la incorporación de funciones de conducción automática (ATO). Dichas funciones operarán en todo caso bajo la supervisión del sistema ATP, de forma que la seguridad de la circulación quede garantizada por este último y no dependa del ATO.
- 19.2 Las funciones ATO deberán contribuir a la regularidad, la eficiencia energética y la precisión de parada, e incluir, según corresponda: el control automático de tracción y frenado, la regulación de la marcha conforme a la consigna, la parada precisa en andén y la gestión del tiempo de permanencia en estación. El sistema deberá garantizar la reducción automática de velocidad en la aproximación a los pasos a nivel conforme a los estudios de seguridad.

SECCIÓN 20 – GRADO DE AUTOMATIZACIÓN (GoA)

- 20.1 El sistema deberá disponer de un grado de automatización GoA2, bajo supervisión permanente del sistema ATP. El sistema deberá garantizar las funciones de seguridad establecidas en el presente Apéndice y la gestión segura de los modos degradados y de las situaciones de emergencia.

20.2 La definición del grado de automatización deberá ser coherente con las funciones de detección y respuesta a emergencias, evacuación y supervisión, en coordinación con el Apéndice Técnico 12 y el Apéndice Técnico 15.

CAPÍTULO VI – GESTIÓN CENTRALIZADA DEL TRÁFICO Y APOYO A LA OPERACIÓN (ATS)

SECCIÓN 21 – FUNCIONES DEL SISTEMA DE APOYO A LA OPERACIÓN (ATS)

21.1 El sistema de gestión centralizada del tráfico y apoyo a la operación (ATS) es la herramienta de gestión y seguimiento del tráfico del conjunto de los servicios del sistema de transporte, que deberá permitir aplicar el programa de operación, regular la marcha de los trenes y gestionar las situaciones de perturbación.

21.2 En tiempo real, el ATS deberá informar al Centro de Control Operacional, como mínimo: la posición de los trenes en la línea, las conexiones y los patios-talleres; el desfase respecto de la posición prevista por el programa de operación; la asignación operativa de los trenes; y la gestión de los conductores.

21.3 A partir de esta información, el ATS deberá generar automáticamente las consignas de salida y de regulación en línea para aplicar el horario previsto, y deberá disponer de herramientas de apoyo a la gestión de perturbaciones, incluyendo escenarios alternativos, retrocesos y cálculo de regulación.

21.4 En tiempo diferido, el ATS deberá permitir el análisis estadístico de la operación, incluyendo la medición de los tiempos de recorrido y los índices de regularidad y puntualidad, y el seguimiento de los indicadores de operación y mantenimiento.

SECCIÓN 22 – FORMACIÓN AUTOMÁTICA DE ITINERARIOS Y REGULACIÓN

22.1 El ATS deberá permitir la Formación Automática de Itinerarios (FAI), estableciendo de forma automática las rutas de los trenes conforme a los horarios programados, y permitiendo la introducción y modificación de los horarios de circulación para periodos definidos.

- 22.2 El sistema deberá permitir, ante cualquier imprevisto en la línea, la ejecución de itinerarios o maniobras alternativos a los programados, así como el establecimiento de escenarios de rutas automáticas para sostener el carrusel de la línea.
- 22.3 El ATS deberá incorporar funciones de regulación que permitan recuperar la regularidad del servicio ante perturbaciones, manteniendo la continuidad y la calidad del servicio ofrecido.

SECCIÓN 23 – LOCALIZACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LOS TRENES

- 23.1 El ATS deberá identificar, localizar y seguir en tiempo real la circulación de los trenes, en la línea, en las vías de acceso y en los patios-talleres, visualizando la posición y el número de identificación de cada tren e informando al Centro de Control Operacional de cualquier anomalía que pueda generar una perturbación del tráfico.
- 23.2 En los patios-talleres, el sistema deberá visualizar la posición de los trenes, supervisar las entradas y salidas y la circulación interna, informar a los conductores de la posición de los trenes, y permitir la programación de entradas, salidas, lavado y mantenimiento de los trenes.
- 23.3 El acceso al ATS deberá poder realizarse desde puestos de trabajo identificados y declarados como disponibles (puestos de trabajo banalizados), con control de acceso y trazabilidad.

SECCIÓN 24 – GESTIÓN DE PERTURBACIONES Y MODOS DEGRADADOS

- 24.1 El sistema deberá proporcionar al operador las herramientas necesarias para tomar rápidamente las medidas requeridas ante una perturbación, con el fin de mantener un servicio conforme a los objetivos de operación.
- 24.2 El sistema deberá gestionar de forma segura los modos degradados, garantizando la continuidad de la operación en condiciones controladas de seguridad y la transición ordenada entre modos. Las condiciones operacionales de los modos degradados (velocidades, capacidad e intervalo mínimos) se definen en el Apéndice Técnico 16; en todo caso, todos los modos operarán bajo la supervisión del sistema ATP con integridad SIL 4.

24.3 El módulo embarcado de apoyo a la operación deberá informar al conductor, en tiempo real, los datos sobre su misión y la posición de los trenes, y permitir el diálogo con el Centro de Control Operacional mediante una interfaz hombre-máquina.

SECCIÓN 25 – DIAGNÓSTICO, MONITOREO Y GESTIÓN DE FALLAS

25.1 El Sistema de Señalización deberá disponer de funciones permanentes de autodiagnóstico que permitan detectar, registrar y reportar automáticamente las fallas que afecten sus equipos, subsistemas o funciones.

25.2 Como mínimo deberán supervisarse: a) la disponibilidad de equipos; b) el estado de las comunicaciones; c) la alimentación eléctrica; d) las funciones vitales; e) los dispositivos de campo; f) los equipos embarcados; y g) las interfaces entre subsistemas.

25.3 Toda falla deberá generar automáticamente: la identificación del equipo afectado, la clasificación de criticidad, la fecha y hora, las acciones ejecutadas por el Sistema y el historial de eventos.

25.4 El Sistema deberá conservar registros históricos suficientes para facilitar las actividades de mantenimiento, la investigación de incidentes y la auditoría técnica. El período mínimo de conservación de los registros será el que defina la Ley Aplicable y, en su defecto, no será inferior a un (1) año, sin perjuicio de la conservación reforzada de los registros asociados a incidentes de seguridad.

25.5 Las funciones de monitoreo deberán integrarse con el sistema de gestión de mantenimiento del Proyecto cuando corresponda.

CAPÍTULO VII – PASOS A NIVEL E INTERSECCIONES VIALES

SECCIÓN 26 – SEÑALIZACIÓN Y PROTECCIÓN DE PASOS A NIVEL CON BARRERAS (SIB)

26.1 El sistema de señalización de los pasos a nivel con barreras (SIB) deberá permitir el paso seguro de los trenes en los cruces viales preservados, protegiendo el cruce mediante barreras automáticas y sistemas de señalización de seguridad, luminosa y acústica, tanto para el tren como para los vehículos viales y peatones, y permitiendo el desarrollo de modos degradados ante fallas del sistema.

26.2 Cada paso a nivel deberá contar con la señalización ferroviaria, los dispositivos de protección activa y la señalización vial horizontal y vertical exigidos por la normativa aplicable, debidamente coordinados e integrados entre sí para garantizar la seguridad de la circulación ferroviaria, vehicular y peatonal. La señalización vial horizontal y vertical deberá cumplir las especificaciones establecidas en la normativa vial vigente

26.3 El Concesionario deberá instalar la señalización con barreras automáticas completas en la totalidad de los cruces viales preservados que correspondan según la configuración del corredor, garantizando la prioridad del tren conforme. La protección mínima requerida por cruce es la indicada en la Tabla 2. El Concesionario podrá proponer soluciones de señalización adicionales o de mayor nivel de protección, sin reducir el mínimo establecido.

Tabla 2. Cruces viales preservados con barrera automática, y señalización luminosa y acústica

Identificación del cruce	PK aproximado
Cruce 1	23+393
<u>Cruce 2</u>	24+255
Cruce 3	26+527
Cruce 4	27+557
Cruce 5	29+832
Cruce 6	32+771
Cruce 7	34+458
Cruce 8	35+039
Cruce 9	35+360
Cruce 10	35+678
Cruce 11	36+070
Cruce 12	37+284
Cruce 13	39+058
Cruce 14	39+299
Cruce 15	39+616
Cruce 16	39+823
Cruce 17	42+298
Cruce 18	42+468
Cruce 19	43+215
Cruce 20	44+031
Cruce 21	45+197
<u>Cruce 22</u>	45+688
Cruce 23	46+056

Cruce 24	46+117
Cruce 25	47+419
Cruce 26	47+621
Cruce 27	47+741
Cruce 28	47+978
Cruce 29	48+281
Cruce 30	48+486

26.4 Los valores de PK indicados en la Tabla 2 son aproximados y deberán conciliarse con la localización definitiva y real de los cruces identificados en la Etapa Previa del Contrato. La totalidad de los cruces preservados contará, como mínimo, con barreras automáticas completas, señalización luminosa y acústica.

26.5 Los equipos del SIB y sus armarios exteriores deberán diseñarse para funcionar con independencia del tipo de plataforma y de revestimiento, y sin verse afectados por temperaturas elevadas, humedad, choques accidentales u otras condiciones del entorno.

SECCIÓN 27 – DESEMPEÑO Y SEGURIDAD DE LOS PASOS A NIVEL

27.1 El Concesionario deberá realizar los estudios de seguridad de los pasos a nivel y adaptar su diseño en función de los análisis de riesgos, garantizando la seguridad del cruce en todos los modos de operación.

27.2 El Concesionario deberá minimizar el tiempo de barreras cerradas para reducir el impacto sobre la circulación vial y peatonal, optimizándolo en función de la configuración de cada cruce. Los tiempos de cierre de barreras se definirán por escenario operativo y por la ubicación específica de cada paso a nivel, conforme al estudio de seguridad de que trata el numeral anterior, a la normativa aplicable y a la aprobación de las autoridades de tránsito competentes, en coordinación con el Apéndice Técnico 13 y 23. En ningún caso el tiempo de cierre podrá comprometer la seguridad del cruce ni la del paso del tren.

27.3 La velocidad de circulación en la aproximación a los pasos a nivel se ajustará a las condiciones de seguridad resultantes de los estudios de seguridad y a la normativa aplicable.

SECCIÓN 28 – DETECCIÓN DE TRENES Y MANDO LOCAL DE BARRERAS

- 28.1 El sistema deberá contar con detección de trenes para la activación de las barreras, cuya localización se basará en la velocidad de los trenes y en el tiempo de cierre de las barreras, de modo que la barrera esté completamente cerrada en el momento del paso del tren.
- 28.2 Cada sistema de barreras deberá disponer de un mando local que permita a un operador controlar el movimiento de las barreras mediante dos botones (abrir-cerrar) o un sistema equivalente, concebido en seguridad para impedir acciones o eventos contrarios a la seguridad de los pasajeros y de los vehículos.
- 28.3 Cuando, por avería u otras causas, el paso a nivel permanezca cerrado durante un tiempo anormalmente elevado, el sistema deberá poder producir automáticamente la apertura del paso a nivel en condiciones seguras.

SECCIÓN 29 – COORDINACIÓN CON LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE TRÁFICO VIAL

- 29.1 Sin perjuicio de lo establecido en los demás Apéndices del contrato, en los cruces e intersecciones viales que dispongan de semaforización vial, el Concesionario deberá coordinar la operación del sistema de protección ferroviaria con los sistemas de gestión y control del tránsito de las autoridades competentes, garantizando la prioridad del tren y la seguridad del cruce, conforme a la normativa aplicable.
- 29.2 El Concesionario deberá garantizar la conectividad y el intercambio de información en tiempo real entre el sistema ferroviario y los centros de gestión de tránsito o sistemas integrados de transporte de las entidades competentes por cuyo ámbito discorra el corredor, mediante los medios de comunicación que resulten adecuados, preferentemente canales dedicados por fibra óptica en coordinación con el Apéndice Técnico 11, de modo que el paso del tren se informe con la antelación y la precisión necesarias para la gestión coordinada del tránsito. Los protocolos de integración se definirán con las autoridades de tránsito competentes durante la Etapa Pre Operativa.
- 29.3 La gestión operativa de la semaforización vial asociada a los cruces del corredor, cuando así lo acuerden las autoridades competentes, se articulará conforme a los convenios y protocolos que se suscriban, sin que ello altere el régimen de responsabilidades del Contrato.

- 29.4 Ante pérdida de suministro eléctrico, el controlador semafórico deberá disponer de una fuente de respaldo que permita mantener la operación segura de los cruces durante el tiempo necesario para implementar las medidas operacionales correspondientes.

CAPÍTULO VIII – COMUNICACIONES DE SEGURIDAD Y CIBERSEGURIDAD

SECCIÓN 30 – COMUNICACIONES DE SEGURIDAD

- 30.1 Cuando el sistema de señalización emplee la transmisión de datos para funciones relacionadas con la seguridad, la comunicación deberá ser segura conforme a la normativa aplicable según el Apéndice Técnico 2, garantizando la integridad, la autenticidad y la disponibilidad de los mensajes frente a las amenazas de transmisión. El portador de transmisión (red de datos, radio u otros) se coordina con el Apéndice Técnico 11.
- 30.2 El Concesionario deberá garantizar la compatibilidad electromagnética del sistema de señalización con el sistema de tracción en corriente continua y con los demás sistemas, conforme a la normativa aplicable según el Apéndice Técnico 2, en particular, la norma EN 50121, y en coordinación con el Apéndice Técnico 9, asegurando la inmunidad de las funciones de seguridad frente a las perturbaciones.

SECCIÓN 31 – CIBERSEGURIDAD DEL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN

- 31.1 El Concesionario deberá diseñar, implementar y mantener las medidas de ciberseguridad necesarias para proteger el sistema de señalización, control y protección de trenes frente a amenazas que puedan comprometer la seguridad, la disponibilidad o la integridad de la operación, conforme a la normativa aplicable según el Apéndice Técnico 2, y en coherencia con el marco de ciberseguridad del Proyecto del Apéndice Técnico 14.
- 31.2 Las medidas deberán incluir, como mínimo: la segmentación y protección de las redes; el control de accesos y la trazabilidad; la gestión de vulnerabilidades y actualizaciones; la monitorización de eventos de seguridad; y los procedimientos de respuesta ante incidentes, garantizando que las medidas de ciberseguridad no comprometan las funciones de seguridad funcional.

CAPÍTULO IX – SEGURIDAD FUNCIONAL Y RAMS

SECCIÓN 32 – GESTIÓN DE LA SEGURIDAD, SIL Y EVALUACIÓN INDEPENDIENTE

- 32.1 Sin perjuicio de lo establecido en el Apéndice Técnico 1 y 17, el Concesionario deberá aplicar un proceso de gestión de la seguridad a lo largo del ciclo de vida del sistema conforme a la normativa CENELEC aplicable, identificando y clasificando los riesgos y demostrando que el sistema alcanza los objetivos de seguridad exigidos.
- 32.2 Las funciones vitales del sistema de señalización deberán cumplir el nivel de integridad de seguridad (SIL) que corresponda según el análisis de riesgos, alcanzando el nivel SIL 4 para las funciones de seguridad más críticas, conforme a las normas CENELEC aplicables.
- 32.3 El Concesionario deberá elaborar el expediente de seguridad (Safety Case) del sistema y someterlo a la evaluación de un evaluador independiente de seguridad (ISA), conforme al régimen de evaluación de conformidad, certificación y seguridad definido en el Apéndice Técnico 1 y 17.
- 32.4 El Concesionario deberá mantener actualizado, de acuerdo con el Apéndice Técnico 3, el expediente de seguridad del sistema durante todo su ciclo de vida, incorporando las modificaciones, ampliaciones, renovaciones, actualizaciones de software y cambios operacionales que puedan afectar las funciones de seguridad.
- 32.5 Toda modificación que afecte funciones relacionadas con la seguridad deberá ser sometida al proceso de evaluación de seguridad correspondiente y, cuando aplique, a revisión por parte del Evaluador Independiente de Seguridad (ISA).

SECCIÓN 33 – SOFTWARE Y SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE SEGURIDAD

- 33.1 El software relacionado con la seguridad deberá desarrollarse, verificarse y validarse conforme a la normativa aplicable según el Apéndice Técnico 2 y 14, con un diseño modular que permita la recuperación y la modificación controlada del software y de los parámetros existentes, y la trazabilidad de las versiones.
- 33.2 Los sistemas electrónicos relacionados con la seguridad deberán diseñarse conforme a la normativa aplicable según el Apéndice Técnico 2, demostrando la seguridad mediante el correspondiente expediente de seguridad y los principios de seguridad intrínseca.

SECCIÓN 34 – FIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD

34.1 El Sistema de Señalización deberá alcanzar los objetivos de fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, de acuerdo con los lineamientos del Apéndice Técnico 1, garantizando que la disponibilidad del sistema sea coherente con los objetivos globales de disponibilidad del Proyecto.

34.2 El diseño deberá facilitar la mantenibilidad, el diagnóstico y la rápida restitución del servicio tras una avería, e incorporar funciones de autodiagnóstico y de registro que permitan la gestión proactiva del mantenimiento.

CAPÍTULO X – EJECUCIÓN, INTEGRACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO

SECCIÓN 35 – CONTROL DE MATERIALES Y COMPONENTES

35.1 El Concesionario deberá garantizar que la totalidad de los materiales, equipos y componentes del sistema de señalización cuenten con la certificación de conformidad y de seguridad aplicable conforme al Apéndice Técnico 17, con trazabilidad documentada e integrada al sistema de gestión de información del Proyecto, de que trata el Apéndice Técnico 3.

SECCIÓN 36 – PRUEBAS, ENSAYOS Y VALIDACIÓN

36.1 Sin perjuicio de lo establecido en el Apéndice Técnico 17 y en el Apéndice Técnico 1, el Concesionario deberá ejecutar un programa de pruebas, ensayos y validación que verifique el cumplimiento de los requisitos del presente Apéndice, incluyendo, como mínimo: pruebas de fábrica; pruebas de los enclavamientos y de la detección de trenes; pruebas de las funciones ATP/ATO; pruebas de integración con el Material Rodante y con el Centro de Control Operacional; pruebas de los pasos a nivel; pruebas de compatibilidad electromagnética; y pruebas integradas del sistema en condiciones representativas de la operación.

36.2 El Concesionario deberá emplear, cuando corresponda, entornos de simulación y laboratorios de integración que permitan validar las funciones de seguridad antes de su despliegue en campo, minimizando el riesgo en la puesta en servicio.

36.3 El Concesionario deberá entregar los protocolos de prueba, los criterios de aceptación cuantitativos y los registros de resultados como evidencia verificable del cumplimiento, que se someterán al procedimiento de No Objeción aplicable.

SECCIÓN 37 – PUESTA EN SERVICIO Y AUTORIZACIÓN DE ENTRADA EN SERVICIO

37.1 La puesta en servicio del sistema de señalización deberá realizarse conforme a procedimientos documentados que garanticen la seguridad de la operación, la trazabilidad de las pruebas y la subsanación de las no conformidades identificadas, conforme al Apéndice Técnico 17 y al Apéndice Técnico 1, además de sin perjuicio del cumplimiento de los Hitos de que trata el Apéndice Técnico 19.

37.2 El Concesionario deberá acreditar, previo a la entrada en servicio comercial, que el sistema cumple la totalidad de los requisitos del presente Apéndice y cuenta con las certificaciones y autorizaciones de seguridad aplicables. Los hitos de aprobación y autorización se estructurarán conforme al Contrato, y al Apéndice Técnico 19.

CAPÍTULO XI – REQUISITOS EN FASE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

SECCIÓN 38 – PRINCIPIOS GENERALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

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

38.2 El Concesionario deberá disponer de los procedimientos, recursos, repuestos, herramientas especializadas y personal competente y certificados necesarios para la operación y el mantenimiento del sistema, incluyendo la atención de emergencias y la restitución del servicio en los plazos exigidos por los objetivos RAMS.

SECCIÓN 39 – MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN

- 39.1 El Concesionario deberá implementar un programa de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo del sistema de señalización, apoyado en las funciones de autodiagnóstico y de registro, que garantice la conservación de las funciones de seguridad y de los niveles de desempeño, conforme al Apéndice Técnico 16.
- 39.2 Las actividades de mantenimiento deberán coordinarse con la ventana de mantenimiento y con la operación, garantizando que las intervenciones no comprometan la seguridad de la circulación y aplicando los procedimientos de protección del personal.

SECCIÓN 40 – GESTIÓN DE CONFIGURACIÓN, SOFTWARE Y OBSOLESCENCIA

- 40.1 El Concesionario deberá mantener una gestión rigurosa de la configuración del sistema (hardware, software y datos de aplicación), garantizando la trazabilidad de las versiones y la integridad de seguridad ante cualquier modificación, en coherencia con el Apéndice Técnico 3.
- 40.2 Toda modificación del software o de los datos de aplicación relacionados con la seguridad deberá someterse a los procesos de verificación, validación y evaluación de seguridad aplicables antes de su despliegue en operación.
- 40.3 El Concesionario deberá implementar un plan de gestión de obsolescencia del hardware y software de señalización, asegurando el soporte, los repuestos y las actualizaciones durante toda la vigencia de la Concesión y las renovaciones necesarias, en coherencia con la regulación aplicable en materia de gestión del riesgo de obsolescencia y con los ciclos de reposición de capital del Proyecto.
- 40.4 Dicho plan incluirá, como mínimo: a) la identificación y seguimiento de los componentes hardware y software en riesgo de obsolescencia, incluyendo los declarados End of Life (EOL) o End of Support (EOS) por sus fabricantes, con una antelación mínima de doce (12) meses respecto a la fecha prevista de fin de soporte, cuando dicha información esté disponible; b) la gestión de los componentes y productos declarados fuera de soporte, incluyendo la evaluación de riesgos y las actuaciones necesarias para garantizar la continuidad del servicio; c) la disponibilidad de repuestos para los elementos críticos del sistema, así como las actuaciones de renovación, sustitución o migración tecnológica necesarias para mantener las prestaciones, la disponibilidad y las condiciones de seguridad

del sistema durante toda la vigencia de la Concesión; y d) la revisión periódica, al menos anual, del estado de soporte y ciclo de vida de los componentes.

40.5 El plan de mantenimiento y de soporte deberá definir el alcance (correctivo, preventivo y de repuestos), los niveles de severidad de las fallas (crítica, mayor y menor), los tiempos de respuesta y de resolución asociados a cada nivel, y los años de stock y las estrategias de migración, de forma coherente con los objetivos RAMS del Apéndice Técnico 1.

40.6 El Concesionario deberá mantener un registro actualizado de la configuración aprobada del sistema, incluyendo hardware, software, parámetros operacionales, datos de aplicación y documentación asociada, garantizando la trazabilidad completa de cualquier modificación realizada durante la vigencia de la Concesión, de acuerdo con el Apéndice Técnico 3.

SECCIÓN 41 – INDICADORES DE DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN

41.1 El desempeño del sistema se medirá mediante indicadores cuyos valores objetivo, método de medición y consecuencias se rigen por el Apéndice Técnico 24 de KPIs.