

Contrato de Concesión No.

Apéndice Técnico 12

Centro de Control Operacional



Gobernación de
Cundinamarca

Tabla de contenido

<i>Tabla de contenido</i>	2
CAPÍTULO I – DISPOSICIONES GENERALES	4
SECCIÓN 1 – OBJETO	4
SECCIÓN 2 – DELIMITACIÓN	4
SECCIÓN 3 – OBLIGACIÓN DE RESULTADO	5
SECCIÓN 4 – VIDA ÚTIL Y ESCALABILIDAD	6
CAPÍTULO II – FUNCIONES DEL CCO	6
SECCIÓN 5 – FUNCIONES EN CONDICIONES NOMINALES	6
SECCIÓN 6 – FUNCIONES EN CONDICIONES DEGRADADAS Y DE EMERGENCIA	7
SECCIÓN 7 – SEGUIMIENTO, COORDINACIÓN Y CONTROL OPERATIVO	8
SECCIÓN 8 – CONCEPTO DE OPERACIÓN (CONOPS)	8
CAPÍTULO III – ARQUITECTURA E INFRAESTRUCTURA DEL CCO	9
SECCIÓN 9 – PRINCIPIOS GENERALES Y EMPLAZAMIENTO	9
SECCIÓN 10 – ERGONOMÍA, FACTORES HUMANOS Y GESTIÓN DE ALARMAS	10
SECCIÓN 11 – SALA DE CONTROL Y MEDIOS DE VISUALIZACIÓN	11
SECCIÓN 12 – CONDICIONES AMBIENTALES Y SEGURIDAD FÍSICA	11
CAPÍTULO IV – ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA Y ALTA DISPONIBILIDAD	11
SECCIÓN 13 – SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE ALTA DISPONIBILIDAD	12
SECCIÓN 14 – SISTEMAS ININTERRUMPIDOS (UPS), BATERÍAS Y AUTONOMÍA	13
SECCIÓN 15 – CLIMATIZACIÓN Y SERVICIOS CRÍTICOS	13
CAPÍTULO V – REDUNDANCIA, CONTINUIDAD Y CCO DE RESPALDO	14
SECCIÓN 16 – REDUNDANCIA Y AUSENCIA DE PUNTOS ÚNICOS DE FALLA	14
SECCIÓN 17 – CCO DE RESPALDO Y SEPARACIÓN GEOGRÁFICA, ELÉCTRICA Y DE COMUNICACIONES	14
SECCIÓN 18 – OBJETIVOS DE RECUPERACIÓN (RTO/RPO) Y CONMUTACIÓN	14
CAPÍTULO VI – INTEGRACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS DEL PROYECTO	15
SECCIÓN 19 – INTEGRACIÓN CON LOS SUBSISTEMAS DEL PROYECTO	15
CAPÍTULO VII – CIBERSEGURIDAD DEL CCO	16
SECCIÓN 20 – PRINCIPIOS DE CIBERSEGURIDAD	16
CAPÍTULO VIII – FORMACIÓN, SIMULACIÓN Y CERTIFICACIÓN DEL PERSONAL	17
SECCIÓN 21 – ENTORNO DE FORMACIÓN Y SIMULACIÓN	17

SECCIÓN 22 – CAPACITACIÓN Y CERTIFICACIÓN DEL PERSONAL	17
<i>CAPÍTULO IX – EJECUCIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO</i>	17
SECCIÓN 23 – PRUEBAS, INTEGRACIÓN Y VALIDACIÓN	17
SECCIÓN 24 – PUESTA EN SERVICIO	18
<i>CAPÍTULO X – EXPLOTACIÓN, MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE OBSOLESCENCIA</i>	19
SECCIÓN 25 – OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL CCO	19
SECCIÓN 26 – GESTIÓN DE OBSOLESCENCIA Y ACTUALIZACIONES	19
SECCIÓN 27 – REVERSIÓN	19

CAPÍTULO I – DISPOSICIONES GENERALES

SECCIÓN 1 – OBJETO

- 1.1 El presente Apéndice establece las obligaciones y los requisitos funcionales, operacionales, de integración, desempeño, continuidad operacional, ciberseguridad y formación aplicables al Centro de Control Operacional (en adelante, «CCO») del Proyecto, durante su diseño, suministro, implementación, integración, pruebas, puesta en servicio, operación, mantenimiento y reversión, a lo largo de toda la vigencia de la Concesión.
- 1.2 El CCO constituye el núcleo central de supervisión, coordinación y control de la operación ferroviaria del Proyecto en condiciones normales, degradadas y de emergencia, asegurando una visión integrada, en tiempo real y continua de la explotación del sistema.
- 1.3 El CCO deberá integrarse y operar de forma compatible con los demás subsistemas del Proyecto, en particular con la Señalización, Control y Protección de Trenes, las Telecomunicaciones, el sistema de Energía, el Recaudo, el Material Rodante y los objetivos RAMS.
- 1.4 El Centro de Control Operacional (CCO) deberá contar con las capacidades de interoperabilidad, intercambio de información y coordinación operativa necesarias para integrarse con los Centros de Gestión de Tránsito (CGT), los Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) y los demás centros de control de las entidades competentes que interactúen con el Proyecto, de conformidad con la normativa aplicable, incluyendo la Resolución 20223040028675 de 2022 o aquella que la modifique, sustituya o complemente. Dicha integración deberá permitir, como mínimo, el intercambio oportuno y seguro de información operacional, alarmas, eventos, incidencias y demás datos necesarios para la gestión coordinada de la operación, la atención de emergencias y la administración de incidentes que afecten el Sistema Ferroviario o su interacción con la infraestructura vial.
- 1.5 El presente Apéndice establece requisitos mínimos. El Concesionario será responsable de desarrollar todos los elementos, sistemas, medios humanos, organizativos y documentales necesarios para alcanzar los resultados exigidos por el Contrato, aun cuando no se encuentren expresamente descritos en el presente Apéndice.

SECCIÓN 2 – DELIMITACIÓN

- 2.1 El CCO comprende el conjunto de instalaciones, sistemas, equipos, infraestructura física y eléctrica, medios de visualización, herramientas de supervisión y mando, y entornos de formación que permiten la operación integral del sistema ferroviario, así como su CCO de respaldo y los entornos de continuidad operacional.
- 2.2 La integración extremo a extremo del CCO con los demás subsistemas será responsabilidad del Concesionario y se gestionará mediante el Documento de Control de Interfaces (ICD), conforme al Apéndice Técnico 18.
- 2.3 Las condiciones mínimas del CCO se resumen en la Tabla 1, sin perjuicio de los requisitos desarrollados en el articulado del presente Apéndice.

Tabla 1. Condiciones mínimas del CCO

Componente / Función	Alcance mínimo
CCO principal	Operativo 24 horas al día, 7 días a la semana, ubicado en el patio-taller de Zipaquirá
CCO de respaldo	Ubicado en el patio-taller PK5 (Bogotá D.C.), separado geográfica, eléctrica, de telecomunicaciones, ambiental y operacionalmente del CCO principal
Puestos de operación	Tráfico, supervisión, energía/SCADA, telecomunicaciones, seguridad y gestión de incidencias, monitoreo de recaudo, videovigilancia (CCTV) y coordinación de incidentes; con disposición y espacio para puestos de Policía y del operador de recaudo
Medios de visualización	Mural de control (videowall) y consolas de operación
Alimentación eléctrica de alta disponibilidad	Doble fuente, grupo electrógeno, UPS y baterías
Integración de subsistemas	Señalización/ATS, enclavamientos, energía/SCADA, telecomunicaciones (incluida la radio operacional crítica), CCTV, control de accesos, información al pasajero, recaudo y mantenimiento
Registro y reproducción de eventos	Grabación sincronizada con retención conforme a la Ley Aplicable
Sala de crisis	Sala de gestión de crisis para la coordinación de emergencias de gran impacto
Entorno de formación y simulación	No operacional, replicando las funciones del CCO
Ciberseguridad	Segregación OT/IT y seguridad desde el diseño

SECCIÓN 3 – OBLIGACIÓN DE RESULTADO

- 3.1 Las obligaciones del presente Apéndice constituyen obligaciones de resultado. El Concesionario deberá entregar un CCO principal y otro de respaldo completo, integrado y plenamente funcional, capaz de garantizar la supervisión, coordinación y control de la

operación del Proyecto en las condiciones de seguridad, continuidad y desempeño definidas en el Contrato.

3.2 El Concesionario será responsable del diseño, suministro, integración, pruebas, puesta en servicio, operación y mantenimiento de la totalidad del CCO, incluyendo su infraestructura física y eléctrica, sus sistemas y sus medios humanos y documentales.

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.

SECCIÓN 4 – VIDA ÚTIL Y ESCALABILIDAD

4.1 La arquitectura del CCO deberá ser escalable, permitiendo la incorporación de nuevas funcionalidades, la ampliación del sistema y la evolución tecnológica sin afectar la operación.

4.2 El Concesionario deberá prever una holgura inicial de capacidad de, como mínimo, el veinte por ciento (20%), referida a los puestos de operación (posiciones), a la capacidad de procesamiento y almacenamiento de datos, y a la capacidad de integración de subsistemas, sin perjuicio de lo establecido en el Contrato y en los demás Apéndices. Dicha holgura deberá ser coherente con las previsiones de crecimiento de flota y de ampliación del sistema y con la holgura de los patios-talleres del Apéndice Técnico 7.

4.3 Los componentes del CCO deberán alcanzar la vida útil de referencia coherente con la del conjunto de sistemas operacionales, y el Concesionario deberá mantener, actualizar, renovar y reponer los activos durante toda la vigencia de la Concesión, conforme al presente Apéndice, y al plan de Gestión de Obsolescencia.

CAPÍTULO II – FUNCIONES DEL CCO

SECCIÓN 5 – FUNCIONES EN CONDICIONES NOMINALES

5.1 En condiciones normales de operación, el CCO deberá cumplir, como mínimo, las siguientes funciones:

- a) supervisión del tráfico ferroviario mediante el seguimiento en tiempo real de la circulación de todos los trenes, incluyendo posición, estado operacional, cumplimiento de horario y detección de desviaciones;

- b) gestión de la malla de circulación, regulación de intervalos, resolución de conflictos operativos, ruteo automático, gestión de conexiones y administración de retornos o servicios parciales, conforme al Programa de Operación aprobado;
- c) supervisión de la regularidad, la puntualidad, la disponibilidad del servicio y los demás parámetros operacionales definidos contractualmente;
- d) supervisión integrada de los sistemas críticos del Proyecto, incluyendo señalización y control de trenes, telecomunicaciones, energía, SCADA, información al pasajero y demás sistemas asociados a la explotación;
- e) coordinación de la operación en estaciones, incluyendo apertura y cierre del servicio, gestión de eventos operativos e información al usuario;
- f) monitoreo permanente del estado general del sistema, con detección temprana de anomalías, alarmas y condiciones de degradación.

SECCIÓN 6 – FUNCIONES EN CONDICIONES DEGRADADAS Y DE EMERGENCIA

- 6.1 En situaciones de fallo parcial, degradación o indisponibilidad de uno o varios subsistemas, el CCO deberá detectar y diagnosticar las incidencias en tiempo real, activar los procedimientos de operación degradada aprobados —que serán objeto de No Objeción por la Interventoría y se desarrollarán conforme al Apéndice Técnico 16, reconfigurar la explotación del sistema cuando sea necesario, coordinar las acciones de mantenimiento y gestionar la comunicación con usuarios, autoridades y actores externos.
- 6.2 En condiciones de emergencia, el CCO deberá actuar como centro de coordinación operativa del Proyecto, debiendo activar los protocolos de respuesta, coordinar la intervención de los servicios de emergencia y de las autoridades competentes, disponer la suspensión o interrupción del servicio cuando resulte necesario por razones de seguridad, coordinar la evacuación de trenes y estaciones, y supervisar el restablecimiento progresivo de la operación.
- 6.3 El CCO deberá disponer de procedimientos específicos y de una sala de gestión de crisis para las crisis operacionales de gran impacto, incluyendo la coordinación con autoridades, operadores externos, organismos de emergencia y responsables de comunicación institucional.

6.4 El Concesionario deberá garantizar la capacidad de asumir el mando desde el CCO de respaldo ante la indisponibilidad del CCO principal, previendo la dotación de personal mínimo del CCO de respaldo en condiciones de emergencia, la capacidad de acceso remoto para asumir provisionalmente el mando mientras se normaliza la operación, y la realización periódica de maniobras de transferencia de mando entre el CCO principal y el de respaldo, con el fin de mantener al personal entrenado. Los tiempos máximos de transferencia y de conmutación se ajustarán a los objetivos de recuperación de la Sección 18.

SECCIÓN 7 – SEGUIMIENTO, COORDINACIÓN Y CONTROL OPERATIVO

7.1 El CCO deberá actuar como punto central de coordinación: entre los subsistemas del Proyecto; con las entidades externas y las autoridades de transporte, seguridad y emergencia; y con los terceros vinculados a la operación o a la gestión de interfaces operativas.

7.2 El Concesionario deberá asegurar la trazabilidad documental de dicha coordinación mediante procedimientos, registros y evidencias operacionales, siguiendo lo establecido en el Apéndice Técnico 3.

7.3 El CCO deberá soportar el seguimiento del desempeño operacional mediante el monitoreo de los indicadores definidos en el Contrato, incluyendo, al menos, regularidad, disponibilidad del servicio, tiempos de respuesta y desempeño frente a incidencias.

7.4 El CCO deberá registrar, clasificar y analizar los eventos operativos, y generar los reportes conforme a los requerimientos contractuales y al Apéndice Técnico 3.

7.5 El CCO deberá registrar de forma sincronizada los datos operacionales, las alarmas, las órdenes, las actuaciones de los operadores y los demás eventos relevantes, mediante un sistema de grabación que permita la reproducción sincronizada para la investigación de incidentes, la auditoría operacional y el análisis de desempeño.

7.6 La retención, protección y disponibilidad de dichos registros deberá cumplir la Ley Aplicable y las disposiciones contractuales correspondientes, y deberá ser coherente con el sistema de cronometría del Apéndice Técnico 11.

7.7 El sistema deberá permitir la identificación inequívoca de los usuarios, la trazabilidad de las actuaciones realizadas y la auditoría posterior de cualquier acción ejecutada desde el CCO.

SECCIÓN 8 – CONCEPTO DE OPERACIÓN (CONOPS)

- 8.1 El Concesionario deberá elaborar, mantener actualizado y someter a No Objeción por parte de la Interventoría el Concepto de Operación (ConOps) del Proyecto, coherente con el plan de operación del Apéndice Técnico 16, que deberá incluir, como mínimo, un catálogo de escenarios nominales, degradados y de emergencia, así como los procedimientos, herramientas, perfiles y responsabilidades del CCO para su gestión. El ConOps se presentará en la fase y los plazos que se definan en coordinación con el Apéndice Técnico 16.
- 8.2 El catálogo de escenarios del ConOps deberá comprender, como mínimo: la pérdida del CCO principal y la conmutación al CCO de respaldo; la pérdida del ATS; la pérdida de las telecomunicaciones y de la radio operacional; la pérdida del SCADA de energía; la pérdida de la alimentación eléctrica; el tren detenido en vía y la evacuación; el incendio y la intrusión; la falla de señalización y de catenaria; la operación parcial y el servicio lanzadera; y la coordinación con autoridades.
- 8.3 El ConOps deberá ser coherente con los procedimientos de operación degradada y de emergencia, con el Plan de Respuesta a Emergencias y con los objetivos RAMS del Proyecto.

CAPÍTULO III – ARQUITECTURA E INFRAESTRUCTURA DEL CCO

SECCIÓN 9 – PRINCIPIOS GENERALES Y EMPLAZAMIENTO

- 9.1 El CCO principal deberá ubicarse en el patio-taller de Zipaquirá del Proyecto y constituirá el centro primario de operación, con capacidad de control integral de la red y de los sistemas operacionales relevantes.
- 9.2 El CCO deberá disponer de superficies, espacios operativos, salas técnicas, áreas de soporte y reservas de crecimiento suficientes para alojar los puestos de operación, sistemas, equipos y funciones requeridas por el Proyecto durante toda la vigencia de la Concesión. El área mínima disponible para estos fines no podrá ser inferior a 2.250 m².
- 9.3 El CCO deberá operar de manera continua durante las veinticuatro (24) horas del día, los siete (7) días de la semana, y contar con infraestructura física adecuada, alimentación eléctrica de alta disponibilidad (Capítulo IV), climatización y condiciones ambientales controladas, y medidas de seguridad física, control de accesos y ciberseguridad.

9.4 El CCO deberá contar, como mínimo, con los puestos de control de tráfico ferroviario, supervisión de operación, gestión de energía y SCADA, telecomunicaciones operacionales, seguridad y gestión de incidencias, monitoreo de recaudo y videovigilancia, sin perjuicio de otros puestos adicionales que el Concesionario considere necesarios o que sean solicitados por la Interventoría o la EFR. El CCO deberá prever, además, las salas y áreas técnicas de soporte, incluyendo, como mínimo, sala de señalización, sala de electromecánica, sala de informática, sala de baterías, sala de simulación, sala técnica principal, área del sistema de enfriamiento, sala de crisis y área para CCTV, así como espacios y disposiciones para la Interventoría, la EFR y el operador de recaudo, previa No Objeción con los estudios y diseños.

9.5 La configuración exacta de la sala podrá optimizarse por el Concesionario, siempre que se garantice el cumplimiento integral de los requisitos del presente Apéndice, la holgura de capacidad definida y los requisitos de Ley.

9.6 El diseño del CCO deberá cumplir las condiciones de accesibilidad para personas con discapacidad conforme a la Ley Aplicable.

9.7 El diseño del CCO deberá promover la eficiencia en el uso de energía, agua y materiales, procurando la reducción de la huella de carbono del Proyecto y facilitando la adopción de estándares de construcción sostenible y edificación verde reconocidos nacional o internacionalmente, tales como iluminación eficiente, ventilación e iluminación natural, generación de energía renovable, griferías y aparatos sanitarios de bajo consumo de agua, y uso eficiente de materiales.

9.8 El Concesionario será responsable de incorporar medidas de adaptación y resiliencia frente a los riesgos climáticos identificados en el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento del CCO, con el fin de garantizar la operabilidad durante su vida útil, y asegurando que las soluciones implementadas no generen nuevas vulnerabilidades.

SECCIÓN 10 – ERGONOMÍA, FACTORES HUMANOS Y GESTIÓN DE ALARMAS

10.1 El diseño de las salas y de los puestos de trabajo deberá cumplir los principios de ergonomía y factores humanos aplicables a los centros de control, conforme a la normativa aplicable según el Apéndice Técnico 2, y particularmente la norma ISO 11064, considerando

la visibilidad, la iluminación, la acústica, la fatiga, la operación continua, la accesibilidad y la disposición ergonómica de los elementos de supervisión y mando.

- 10.2 La gestión de alarmas deberá estructurarse bajo principios de priorización, filtrado y tratamiento de avalanchas de alarmas, conforme a las buenas prácticas aplicables, a fin de asegurar la reacción oportuna del operador y evitar la saturación cognitiva.

SECCIÓN 11 – SALA DE CONTROL Y MEDIOS DE VISUALIZACIÓN

- 11.1 El CCO deberá disponer de un mural de control (videowall) y de las consolas de operación necesarias para la supervisión unificada de la operación, garantizando la visualización integrada del estado del tráfico, de los subsistemas y de las alarmas.
- 11.2 Los medios de visualización deberán garantizar la legibilidad, el desempeño y la disponibilidad requeridos para la operación continua, y deberán contar con redundancia coherente con los objetivos de continuidad del Capítulo V.

SECCIÓN 12 – CONDICIONES AMBIENTALES Y SEGURIDAD FÍSICA

- 12.1 Las salas técnicas y de operación del CCO deberán contar con climatización, control de humedad, detección y extinción de incendio, y condiciones ambientales controladas que garanticen la disponibilidad de los equipos, considerando la altitud de operación del orden de 2.650 m s. n. m.
- 12.2 El CCO deberá contar con medidas de seguridad física y control de accesos que restrinjan el acceso a las personas autorizadas, integradas con el sistema de control de accesos y detección de intrusión del Apéndice Técnico 11. Dichas medidas comprenderán, como mínimo: control de acceso físico mediante tarjetas, biometría o equivalente; registro y autorización de ingreso de visitantes; videovigilancia (CCTV) y monitoreo de las áreas críticas; sistemas de detección y extinción de incendios; control de temperatura y humedad en los cuartos de equipos; alimentación ininterrumpida y respaldo eléctrico; protección contra sobretensiones y descargas eléctricas; cerraduras de seguridad para racks, gabinetes y salas de comunicaciones; alarmas de intrusión y monitoreo permanente; protección perimetral de las instalaciones; y gestión y disposición segura de los equipos y medios de almacenamiento al final de su vida útil.

CAPÍTULO IV – ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA Y ALTA DISPONIBILIDAD

SECCIÓN 13 – SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE ALTA DISPONIBILIDAD

- 13.1 En tanto instalación crítica y de seguridad, el CCO (principal y de respaldo) deberá contar con un sistema de alimentación eléctrica de alta disponibilidad, diseñado para garantizar la continuidad del suministro a las cargas críticas ante cualquier falla de la alimentación normal. La coordinación con el sistema de energía se rige por el Apéndice Técnico 9.
- 13.2 El sistema deberá disponer, como mínimo, de una fuente de alimentación principal y de una fuente alterna independientes, con conmutación automática entre ellas, de modo que la pérdida de una fuente no interrumpa la operación del CCO ni durante la transición entre fuentes.
- 13.3 El CCO deberá contar con un grupo electrógeno de respaldo, dimensionado para asumir la totalidad de la carga crítica del CCO, con arranque y toma de carga automáticos ante la pérdida de la alimentación normal, y con autonomía de combustible suficiente para sostener la operación durante el periodo requerido.
- 13.4 Las rutas principales y redundantes de energía, fibra óptica, comunicaciones, control, servidores y almacenamiento del CCO y del CCO de respaldo no deberán compartir canalizaciones, cámaras, tableros, switches, UPS, ductos, salas técnicas ni puntos comunes de falla, garantizando una redundancia física, eléctrica, lógica y funcional. Este principio aplica igualmente a las Secciones 16 y 17.
- 13.5 Los parámetros mínimos de la alimentación eléctrica del CCO son los indicados en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros mínimos de la alimentación eléctrica del CCO

Parámetro	Valor de referencia
Fuentes de alimentación	Principal y alterna independientes, con transferencia automática
Grupo electrógeno de respaldo	Dimensionado al 100 % de la carga crítica del CCO
Arranque y toma de carga del grupo electrógeno	Automático, en ≤ 15 segundos, en todo caso inferior a la autonomía de las baterías de UPS
Prueba periódica del grupo electrógeno	Prueba periódica bajo carga, sin indisponibilizar el CCO, con bypass de mantenimiento
Autonomía de combustible del grupo electrógeno	≥ 48 horas, con contrato de reabastecimiento que garantice la continuidad

Parámetro	Valor de referencia
Configuración de UPS	Doble conversión en línea, con redundancia mínima N+1 y bypass de mantenimiento
Autonomía de baterías de UPS	≥ 2 horas, y en todo caso suficiente para cubrir la transferencia y la toma de carga del grupo electrógeno y una operación segura
Distribución eléctrica	Segregada (vías A/B) hacia las cargas críticas, sin puntos comunes de falla

SECCIÓN 14 – SISTEMAS ININTERRUMPIDOS (UPS), BATERÍAS Y AUTONOMÍA

- 14.1 El CCO deberá contar con sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS) de doble conversión en línea, con redundancia mínima N+1, que alimenten de forma continua las cargas críticas (puestos de operación, servidores, medios de visualización, comunicaciones y sistemas de seguridad), sin interrupción ante la conmutación de fuentes o el arranque del grupo electrógeno.
- 14.2 Las baterías deberán proporcionar una autonomía suficiente para cubrir, como mínimo, el tiempo de transferencia a la fuente de respaldo y la toma de carga del grupo electrógeno, así como una operación segura durante el periodo de referencia. La autonomía mínima será de dos (2) horas.
- 14.3 El sistema de alimentación deberá contar con supervisión integrada (estado de fuentes, grupo electrógeno, UPS, baterías y niveles de combustible), con alarmas presentadas en el CCO, y con un plan de pruebas periódicas y de reposición de baterías, definido por el Concesionario y No Objetado por la Interventoría.

SECCIÓN 15 – CLIMATIZACIÓN Y SERVICIOS CRÍTICOS

- 15.1 Los sistemas de climatización y los servicios críticos asociados al CCO y a sus salas técnicas deberán contar con redundancia y respaldo coherentes con los objetivos de continuidad operacional, garantizando el mantenimiento de las condiciones ambientales requeridas por los equipos durante la operación continua.
- 15.2 Los servicios críticos esenciales para la operación del CCO deberán quedar respaldados por el sistema de alimentación de alta disponibilidad del que trata este Apéndice.

CAPÍTULO V – REDUNDANCIA, CONTINUIDAD Y CCO DE RESPALDO

SECCIÓN 16 – REDUNDANCIA Y AUSENCIA DE PUNTOS ÚNICOS DE FALLA

- 16.1 El Concesionario deberá diseñar e implementar una arquitectura que garantice la continuidad de la operación ante la indisponibilidad total o parcial del CCO principal, contemplando, como mínimo: redundancia de los sistemas críticos de hardware, software y plataformas; redundancia de la infraestructura de comunicaciones; redundancia de la alimentación eléctrica y respaldo energético; y mecanismos de respaldo y recuperación de la información.
- 16.2 El Concesionario deberá garantizar la ausencia de puntos únicos de falla en los componentes críticos del CCO, con redundancia física, eléctrica, lógica y funcional, y documentar los procedimientos de conmutación, recuperación y operación degradada.

SECCIÓN 17 – CCO DE RESPALDO Y SEPARACIÓN GEOGRÁFICA, ELÉCTRICA Y DE COMUNICACIONES

- 17.1 El CCO de respaldo deberá ubicarse en el patio-taller PK5, en Bogotá D.C., y funcionará como un espejo del CCO principal, con funcionalidad equivalente que garantice, como mínimo, el control de tráfico, las comunicaciones operacionales, la supervisión de energía/SCADA, la gestión de incidentes, la visualización crítica, la grabación de eventos y la coordinación de emergencias.
- 17.2 El sitio de respaldo deberá estar separado geográfica, eléctrica y de telecomunicaciones del CCO principal, de modo que un evento único no afecte simultáneamente ambas capacidades de control. El diseño deberá justificar el cumplimiento de estos criterios de separación.
- 17.3 La solución de respaldo deberá cumplir los objetivos de desempeño y continuidad establecidos en el presente Apéndice y en los demás Apéndices del Contrato.

SECCIÓN 18 – OBJETIVOS DE RECUPERACIÓN (RTO/RPO) Y CONMUTACIÓN

- 18.1 El Concesionario deberá definir objetivos de recuperación (RTO) y de pérdida de información admisible (RPO), verificables y consistentes con los lineamientos RAMS del Apéndice Técnico 1. El RPO para los estados y registros de seguridad deberá ser nulo (cero).
- 18.2 El Concesionario deberá elaborar una matriz de objetivos RTO/RPO por función crítica del CCO, diferenciando, como mínimo: tráfico/ATS, señalización, radio operacional, energía/SCADA, CCTV, megafonía, información al pasajero, control de accesos, grabación de eventos, ciberseguridad y sistemas de mantenimiento, atendiendo a que no todas las funciones tienen la misma criticidad ni el mismo tiempo máximo admisible de recuperación.
- 18.3 El Centro de Control Operacional deberá diseñarse de forma que permita la recuperación de las funciones críticas dentro de los tiempos máximos de recuperación (RTO) que se establezcan. Durante los procesos de conmutación y recuperación deberá garantizarse, como mínimo, la operación segura del sistema en modo degradado. El Concesionario deberá desarrollar, documentar, probar y mantener actualizados los procedimientos de conmutación, continuidad operacional y recuperación de servicios.

CAPÍTULO VI – INTEGRACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS DEL PROYECTO

SECCIÓN 19 – INTEGRACIÓN CON LOS SUBSISTEMAS DEL PROYECTO

- 19.1 Todos los sistemas integrados al CCO deberán operar de forma interoperable y coordinada, permitiendo, como mínimo: el intercambio automático de eventos, la correlación de alarmas, la sincronización de datos, la trazabilidad de acciones y la supervisión unificada de la operación.
- 19.2 El CCO deberá integrarse, como mínimo, con la señalización y el ATS, los enclavamientos, el SCADA y la energía, las telecomunicaciones, la red de radiocomunicaciones críticas (TETRA o equivalente, con consolas de despacho, llamadas de grupo y de emergencia, prioridad, grabación de voz y trazabilidad, conforme al Apéndice Técnico 11), el CCTV, el control de accesos, la información al pasajero, el recaudo, el mantenimiento y los demás sistemas corporativos autorizados.

- 19.3 La frontera entre las funciones del CCO/ATS y las funciones vitales del enclavamiento deberá estar expresamente definida en el ICD del Concesionario. Las funciones de seguridad no podrán depender de la disponibilidad de las funciones no vitales del CCO.
- 19.4 El Concesionario deberá garantizar interfaces documentadas, probadas y verificables entre todos los subsistemas críticos de acuerdo con el Apéndice Técnico 18.

CAPÍTULO VII – CIBERSEGURIDAD DEL CCO

SECCIÓN 20 – PRINCIPIOS DE CIBERSEGURIDAD

- 20.1 El CCO, en tanto activo crítico del Proyecto, deberá diseñarse bajo el principio de seguridad desde el diseño, con zonificación, segregación entre las redes de operación (OT) y de información (TI), control de accesos, autenticación robusta, monitoreo, trazabilidad y protección de la operación remota, en coordinación con el Apéndice Técnico 14, con el Apéndice Técnico 2 y particularmente siguiendo la IEC 62443, IEC/TS 50701 e ISO/IEC 27001.
- 20.2 El uso de protocolos abiertos o estándares reconocidos no exime al Concesionario de implementar mecanismos adecuados de seguridad lógica, física y operacional, conforme a la normativa aplicable según el Apéndice Técnico 2 y 14, sin que ello comprometa la interoperabilidad ni la continuidad operacional.
- 20.3 Sin perjuicio de lo establecido en el Apéndice Técnico 14, el Concesionario deberá establecer un programa de auditorías y revisiones periódicas de ciberseguridad, con una frecuencia mínima anual, o de acuerdo con la normatividad aplicable, para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad aplicables y la eficacia de las medidas implantadas.
- 20.4 El Concesionario deberá definir, implementar y documentar, como mínimo: la clasificación de criticidad de los activos del CCO; los niveles de segregación de red aplicables; los controles de acceso y de monitoreo asociados; y los criterios de prueba y aceptación en materia de ciberseguridad.
- 20.5 Dichos elementos deberán formar parte del expediente de diseño, ser verificables antes de la puesta en servicio y mantenerse actualizados durante toda la vigencia de la Concesión, incluyendo la gestión de vulnerabilidades y la respuesta a incidentes.

CAPÍTULO VIII – FORMACIÓN, SIMULACIÓN Y CERTIFICACIÓN DEL PERSONAL

SECCIÓN 21 – ENTORNO DE FORMACIÓN Y SIMULACIÓN

- 21.1 El Concesionario deberá proveer un entorno de formación y simulación no operacional que replique las funciones del CCO, con el fin de entrenar al personal operador, practicar escenarios degradados y de emergencia, y validar procedimientos operativos sin interferir con la operación real.
- 21.2 Dicho entorno deberá mantenerse actualizado respecto de la configuración operacional del sistema y permitir la práctica de los escenarios del ConOps.

SECCIÓN 22 – CAPACITACIÓN Y CERTIFICACIÓN DEL PERSONAL

- 22.1 El Concesionario deberá garantizar que todo el personal con funciones operativas en el CCO esté capacitado y certificado antes de asumir turno, y que mantenga la vigencia de dicha certificación durante toda la operación, mediante un programa de recertificación periódica.
- 22.2 El Concesionario deberá presentar, como mínimo cuarenta y cinco (45) días antes del inicio de la operación comercial, el plan de capacitación y certificación del personal del CCO, que deberá incluir, como mínimo: la malla curricular; los instructores; los criterios de evaluación; los periodos de vigencia y renovación; y una matriz de competencias por cargo.
- 22.3 El Concesionario deberá mantener los registros de capacitación, evaluación y certificación del personal, disponibles para revisión y seguimiento de la Interventoría y de la EFR, de acuerdo con lo establecido en el Apéndice Técnico 3.
- 22.4 El Concesionario deberá disponer de procedimientos que garanticen la continuidad de la operación del CCO ante la indisponibilidad del personal clave, incluyendo esquemas de sustitución y cobertura de turnos.

CAPÍTULO IX – EJECUCIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO

SECCIÓN 23 – PRUEBAS, INTEGRACIÓN Y VALIDACIÓN

- 23.1 Sin perjuicio de lo establecido en el Apéndice Técnico 17 – Pruebas y Puesta en Marcha, el Concesionario deberá ejecutar un programa de pruebas que verifique el cumplimiento de los requisitos del presente Apéndice, incluyendo, como mínimo: pruebas funcionales del CCO; pruebas de integración con los subsistemas; pruebas de la alimentación eléctrica de alta disponibilidad (conmutación de fuentes, grupo electrógeno, UPS y autonomía); pruebas de redundancia, conmutación al respaldo y recuperación (RTO/RPO); pruebas de ciberseguridad; y pruebas de los entornos de formación y simulación.
- 23.2 Las funciones del CCO con impacto en la seguridad operacional deberán identificarse en la matriz de peligros, clasificarse como funciones vitales o no vitales, asignárseles el SIL que corresponda cuando aplique, e incluirse en el expediente de seguridad (Safety Case) del Proyecto, con revisión del Evaluador Independiente de Seguridad (ISA) conforme al Apéndice Técnico 1 y al Apéndice Técnico 17. Las funciones vitales no podrán depender de los sistemas no vitales del CCO.
- 23.3 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.

SECCIÓN 24 – PUESTA EN SERVICIO

- 24.1 La puesta en servicio del CCO deberá realizarse conforme a procedimientos documentados que garanticen la trazabilidad de las pruebas, la disponibilidad de la función de control y la subsanación de las no conformidades identificadas. Como condición previa al inicio de la operación comercial, y de acuerdo con el plazo máximo de este Hito definido en el Apéndice Técnico 19, el Concesionario deberá demostrar mediante pruebas, simulaciones, registros y evidencias documentales que el CCO cumple los requisitos funcionales, operacionales, de continuidad, integración y ciberseguridad establecidos en el presente Apéndice.
- 24.2 El Concesionario deberá acreditar, previo a la fecha máxima de cumplimiento del Hito, que el CCO cumple la totalidad de los requisitos del presente Apéndice y previo a la puesta en servicio, que el personal se encuentra capacitado y certificado conforme al Capítulo VIII.
- 24.3 Cuando resulte aplicable de acuerdo con el Apéndice Técnico 1, las funciones críticas del CCO deberán formar parte del proceso de validación de seguridad operacional del

Proyecto, de que trata el Apéndice Técnico 17, y quedar incluidas dentro del expediente de seguridad correspondiente.

CAPÍTULO X – EXPLOTACIÓN, MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE OBSOLESCENCIA

SECCIÓN 25 – OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL CCO

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

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

SECCIÓN 26 – GESTIÓN DE OBSOLESCENCIA Y ACTUALIZACIONES

26.1 El Concesionario será responsable de gestionar la obsolescencia tecnológica de los sistemas del CCO durante toda la vigencia del Contrato, garantizando que mantengan los niveles requeridos de capacidad, disponibilidad, confiabilidad, seguridad, interoperabilidad y desempeño. El régimen de asunción del riesgo de obsolescencia se rige por el Contrato.

26.2 Las actualizaciones, renovaciones, sustituciones o modernizaciones de software y de seguridad deberán ejecutarse con una cadencia mínima de referencia de veinticuatro (24) meses, sin perjuicio de la aplicación de los parches de seguridad críticos en los plazos que defina el plan de ciberseguridad.

26.3 Las actualizaciones deberán ejecutarse en ventanas de mantenimiento aprobadas, sin interrumpir el servicio operativo y garantizando la continuidad operacional conforme a la disponibilidad exigida. Toda actualización relevante deberá incluir la documentación técnica correspondiente, las pruebas de no regresión, los planes de reversión (rollback) y la transferencia de conocimiento necesaria.

SECCIÓN 27 – REVERSIÓN

- 27.1 Sin perjuicio de lo establecido en el Apéndice Técnico 26, a la fecha de reversión de los activos, los sistemas e infraestructura del CCO deberán cumplir los requisitos de vida útil residual, mantenibilidad y estado de conservación establecidos en dicho Apéndice.
- 27.2 El Concesionario deberá entregar la documentación técnica, las licencias, los códigos, las credenciales y los elementos necesarios para asegurar la continuidad de la operación y del mantenimiento del CCO tras la reversión, conforme al régimen documental del Proyecto.