

CIUDAD DE MÉXICO
CAPITAL DE LA TRANSFORMACIÓN

SERVICIO DE TRANSPORTES ELÉCTRICOS
GERENCIA DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Ciudad de México, a 26 de agosto de 2025
DG-DEDT-GIT/297/2025



Asunto: Reenvío de Anexo Técnico y Especificación Técnica para la adquisición de "Sistema Ferroviario de Regulación y Control de Tráfico para la operación de la línea del Tren Ligero de la Ciudad de México"

Referencia: DG-DET/0545/2025

Lic. José Manuel Simón Clemente
Gerente de Recursos Materiales y Abastecimientos
Presente

En alcance a mi similar de fecha 24 de julio del año en curso, y con motivo de los comentarios emitidos en la Junta de Revisión de Bases del proceso de adquisición LPI-006-2025, a través del presente se hace entrega del Anexo Técnico y Especificación Técnica para la Adquisición de un **Sistema Ferroviario de Regulación y Control de Tráfico para la operación de la línea del Tren Ligero de la Ciudad de México** de forma impresa adjunto al presente, conforme a lo solicitado en la Requisición 296-2025, para los efectos conducentes.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente


Juan David Montaña Cárdenas
Gerente de Ingeniería y Tecnología

C.c.c.e.p. Lic. Luis Alberto Espinoza Saucedo – Director Ejecutivo de Administración y Finanzas lespinozas@ste.cdmx.gob.mx
Mtro. José Alberto Guerrero Molina – Director Ejecutivo de Mantenimiento jguerrerom@ste.cdmx.gob.mx
Ing. Enrique Mauricio Benítez Granillo – Director Ejecutivo de Transportación ebenitezg@ste.cdmx.gob.mx
Ing. Diego Álvarez Guillén. – Gerente de Transportación del Tren Ligero dguillen_gtl@ste.cdmx.gob.mx
Ing. Eduardo Rafael Mujica Contreras. – Subgerente de Ingeniería. emujica@ste.cdmx.gob.mx
Ing. Jorge Luis Carnalla Ortiz. – Subgerente de Investigación y Modernización Tecnológica. jcarnallao@ste.cdmx.gob.mx

Archivo
JDMC/JLCO





ANEXO TÉCNICO
" ADQUISICIÓN DE UN SISTEMA FERROVIARIO DE REGULACIÓN Y CONTROL DE TRÁFICO
PARA LA OPERACIÓN DE LA LÍNEA DEL TREN LIGERO DE LA CIUDAD DE MÉXICO "
(REQUISICIONES 2025)

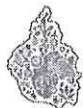
Fecha de corte: 10 de abril de 2025

Fecha de liberación: 25 de agosto de 2025

Part. No.	Código/ Part. Presp.	Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Req.-Part.
1	3500048/ 5651	ADQUISICIÓN DE UN SISTEMA FERROVIARIO DE REGULACIÓN Y CONTROL DE TRÁFICO PARA LA OPERACIÓN DE LA LÍNEA DEL TREN LIGERO DE LA CIUDAD DE MÉXICO. Características y alcances de acuerdo a lo establecido en la Especificación Técnica No. SIN-DTR-3500048 .	Sistema	1	296/1

Requerimientos documentales para valoración técnica

- 1) El licitante deberá presentar escrito en papel membretado de su empresa, manifestando bajo protesta de decir verdad que conoce completamente y está familiarizado con las condiciones del sitio de trabajo y los requisitos operacionales de la Línea de Tren Ligero, por lo que la implementación de "El Sistema FRCT", incluyendo los sistemas de señalización y comunicación propuestos cumplen con las especificaciones técnicas generales y el rendimiento de los equipos establecidos en la Especificación Técnica SIN-DTR-3500048, bajo las condiciones generales de operación de la línea de Tren Ligero.
- 2) El licitante deberá presentar escrito en papel membretado de su empresa, manifestando bajo protesta de decir verdad que garantiza la calidad de los servicios técnicos asociados a la implementación de "El Sistema FRCT", completando las diferentes etapas del trabajo según el cronograma aprobado de acuerdo con la Especificación Técnica SIN-DTR-3500048, y coadyuvará con las gestiones y coordinaciones generales que resulten por la implementación de "El Sistema FRCT".
- 3) El licitante deberá presentar escrito en papel membretado de su empresa, manifestando bajo protesta de decir verdad que conoce y acepta que en caso de resultar adjudicado será responsable de realizar el diseño, fabricación e inspección de fabricación, adquisición y suministro de componentes, embalaje, aseguramiento, transporte, gestión y coordinación del proyecto de señalización y comunicación, así como la instalación, pruebas, puesta en operación, aceptación capacitación del personal y prestación de servicios de post-venta durante el periodo de garantía normal incluyendo el suministro de documentación, planos, archivos y memorias de cálculo necesarios para garantizar la correcta operación de "El Sistema FRCT".
- 4) El licitante deberá presentar escrito en papel membretado de su empresa, manifestando bajo protesta de decir verdad que conoce y acepta que, en caso de resultar adjudicado, será responsable de la calidad de todas las actividades realizadas para la implementación y puesta en operación de "El Sistema FRCT" y asumirá toda la responsabilidad por la gestión del proyecto durante su implementación y hasta la conclusión del periodo de garantía normal.
- 5) El licitante deberá presentar escrito en papel membretado de su empresa, manifestando bajo protesta de decir verdad que conoce y acepta que, es responsable del diseño del sistema de comunicación y señalización del proyecto, incluyendo el diseño preliminar y el diseño detallado.
- 6) El licitante deberá presentar en su propuesta técnica un plan de trabajo detallado en diagrama de Gantt, señalando la descripción de las diferentes etapas de trabajo para la implementación de "El Sistema FRCT" de conformidad con los plazos para ejecución establecidos en las Bases de Licitación.
- 7) El licitante deberá presentar escrito en papel membretado de su empresa, manifestando bajo protesta de decir verdad que tanto los equipos empleados como la solución en todo su conjunto cumplen como mínimo con el estándar de seguridad ferroviaria SIL2.
- 8) El licitante deberá presentar escrito en papel membretado de su empresa, manifestando bajo protesta de decir verdad que conoce y acepta que, en caso de resultar adjudicado proporcionará equipos completos para el sistema de señales y comunicaciones que cumplan con las especificaciones establecidas en la Especificación Técnica SIN-DTR-3500048, tomando en cuenta las condiciones del sitio de los trabajos, el modo de organización de las operaciones, las líneas, las estaciones, las estructuras de puentes, la configuración de las vías de las estaciones, el modo de suministro de energía para la tracción, la configuración de los vehículos, entre otros aspectos generales para la implementación de "El Sistema FRCT".



ANEXO TÉCNICO
" ADQUISICIÓN DE UN SISTEMA FERROVIARIO DE REGULACIÓN Y CONTROL DE TRÁFICO
PARA LA OPERACIÓN DE LA LÍNEA DEL TREN LIGERO DE LA CIUDAD DE MÉXICO "
(REQUISICIONES 2025)

Fecha de corte: 10 de abril de 2025

Fecha de liberación: 25 de agosto de 2025

- 9) El licitante deberá presentar escrito en papel membretado de su empresa, manifestando bajo protesta de decir verdad que conoce y acepta que, proporcionará todas las herramientas de mantenimiento, equipos de prueba e instrumentos para los equipos suministrados, así como repuestos para los equipos suministrados después del período de garantía (incluyendo repuestos, herramientas de mantenimiento, equipos de prueba e instrumentos).
- Asimismo, preparará las herramientas de prueba, repuestos (incluidos repuestos, herramientas de mantenimiento, equipos de prueba e instrumentos) necesarios para la puesta en operación, así como los repuestos durante el período de garantía
- 10) Para comprobación de la experiencia en la implementación de Sistemas Ferroviarios de Regulación y Control de Tráfico, el licitante deberá presentar por lo menos dos contratos, relativos al suministro, instalación y puesta en operación de sistemas de características similares al objeto de éste Anexo Técnico y la Especificación Técnica SIN-DTR-3500048.
- 11) El licitante deberá presentar escrito en papel membretado de su empresa, manifestando bajo protesta de decir verdad que conoce y acepta que, durante la ejecución de los trabajos, será completamente responsable de la seguridad de su personal, para lo cual proveerá de los equipos de seguridad personal requeridos.
- 12) El licitante deberá presentar escrito en papel membretado de su empresa, manifestando bajo protesta de decir verdad que conoce y acepta que, los dispositivos y accesorios de instalación de los equipos proporcionados, serán suministrados por el mismo.
- 13) El licitante deberá integrar en su propuesta técnica una descripción funcional detallada de los sistemas/ subsistemas que integran al Sistema Ferroviario de Control de Tráfico propuesto, describiendo la interacción de los diferentes subsistemas que lo conforman, mediante la cual demuestre cumplir con los requerimientos funcionales y las características técnicas mínimas establecidas en la Especificación Técnica SIN-DTR-3500048.

Elaboró

Ing. Jorge Luis Carnalla Ortiz
Subgerente de Investigación y
Modernización Tecnológica

Elaboró

Ing. Eduardo Rafael Mujica Contreras
Subgerente de Ingeniería

Revisó

Juan David Montañó Cárdenas
Gerente de Ingeniería y Tecnología

Revisó

Ing. Diego Álvarez Guillen
Gerente de Transportación
de Tren Ligero

Revisó

Lic. Francisco Javier Gómez Téllez
Gerente de Tecnologías de la
Información y Comunicaciones

Aprobó

Ing. Enrique Mauricio Benítez Granillo
Director Ejecutivo de Transportación

Aprobó

Mtro. José Alberto Guerrero Molina
Director Ejecutivo de Mantenimiento



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

DIRECCIÓN EJECUTIVA DE DESARROLLO TECNOLÓGICO GERENCIA DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA NÚMERO

SIN-DTR-3500048

"ADQUISICIÓN DE UN SISTEMA FERROVIARIO DE REGULACIÓN Y CONTROL DE TRÁFICO
PARA LA OPERACIÓN DE LA LÍNEA DEL TREN LIGERO DE LA CIUDAD DE MÉXICO"

Elaboró

Ing. Jorge Luis Carnalla Ortiz
Subgerente de Investigación y
Modernización Tecnológica

Elaboró

Ing. Eduardo Rafael Mujica Contreras
Subgerente de Ingeniería

Revisó

Juan David Montaña Cárdenas
Gerente de Ingeniería y Tecnología

Revisó

Ing. Diego Álvarez Guillén
Gerente de Transportación
de Tren Ligero

Revisó

Lic. Francisco Javier Gómez Téllez
Gerente de Tecnologías de la
Información y Comunicaciones

Aprobó

Ing. Enrique Mauricio Benítez Granillo
Director Ejecutivo de Transportación

Aprobó

Mtro. José Alberto Guerrero Molina
Director Ejecutivo de Mantenimiento



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

Contenido

1. Objetivo.....	5
2. Descripción.....	6
3. Alcance del Documento.....	8
4. Definiciones y Abreviaturas.....	10
5. Alcance de los trabajos.....	11
6. Sistema de Señalización.....	14
6.1. Descripción Funcional.....	14
6.1.1. Subsistema de Supervisión Automática de Trenes - ATS.....	16
6.1.1.1. Requisitos básicos - Subsistema ATS en el PRTL.....	16
6.1.1.1.1. Puestos de Trabajo de la sala de control del PRTL.....	17
6.1.1.1.2. Configuración del equipamiento de los Puestos de Trabajo de la sala de control.....	17
6.1.1.2. Requisitos básicos - Subsistema ATS en Estaciones.....	18
6.2. Subsistema de enclavamiento informático - CI.....	18
6.3. Subsistema de Comunicación de Datos - DCS.....	20
7. Características del Sistema.....	21
7.1. Requisitos funcionales del subsistema ATS.....	21
7.1.1. Pantalla de información de conducción Información desplegada en el PRTL.....	21
7.1.2. Identificación del tren o la corrida.....	23
7.1.3. Diagrama/cronograma de funcionamiento planificado:.....	26
7.1.4. Diagrama/cronograma de funcionamiento real.....	26
7.1.5. Control de rutas de trenes.....	26
7.1.6. Ajuste del funcionamiento del tren:.....	28
7.1.7. Consulta de operación de trenes:.....	30
7.1.8. Registros de operaciones e informes estadísticos:.....	30
7.1.9. Alarma de fallos.....	32
7.2. Requisitos funcionales del subsistema de enclavamiento.....	33
7.3. Requisitos funcionales del subsistema DCS.....	37
7.3.1. Requisitos de control de acceso.....	37
7.3.2. Requisitos de independencia relativa y transparencia para la transmisión de información.....	38
7.3.3. Requisitos de confiabilidad.....	38
7.3.4. Requisitos de seguridad:.....	38
7.3.5. Requisitos para las luces de señalización.....	40
7.3.5.1. Parámetros técnicos principales:.....	41
7.3.6. Requisitos para máquinas de cambio de vía (Desvíos).....	41
7.3.7. Requisitos de contadores de ejes.....	42
7.3.8. Requisitos del equipo de suministro de energía.....	43
7.3.9. Requisitos de los equipos del monitor de alimentación eléctrica.....	43
7.3.10. Requisitos de UPS y baterías.....	44
7.4. Sistema de señalización para Cruceiros a nivel.....	44
7.4.1. Requisitos de nivel de seguridad.....	45
8. Sistema de Comunicaciones.....	45
8.1. Subsistema de Comunicación IP.....	46
8.1.1. Equipos de comunicación IP en el "PRTL".....	47
8.1.2. Equipos de comunicación IP en Estaciones Terminales (Tasqueña / Xóchimilco).....	48
8.1.3. Equipos de comunicación IP en Estaciones Intermedias (16 Estaciones).....	48
8.1.4. Equipos de comunicación IP en depósito (Estadio Azteca).....	48
8.1.5. Características del Subsistema de Comunicación IP.....	48
8.1.6. Principales funciones del Sistema de Comunicación IP.....	48
8.1.7. Especificaciones técnicas mínimas de los equipos principales.....	50
8.1.7.1. Switch central.....	50
8.1.7.2. Switch de agregación.....	50
8.1.7.3. Switch de acceso.....	51
8.1.7.4. Firewall.....	51
8.1.8. Interacción con otros Subsistemas.....	51



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

8.1.9.	Subsistema Telefonía	52
8.1.9.1.	Composición del Subsistema	52
8.1.9.2.	Funciones del Subsistema Telefonía	53
8.1.9.3.	Especificaciones técnicas de los equipos principales	54
8.1.10.	Subsistema de Grabación	55
8.1.10.1.	Requisitos de función del sistema	56
8.1.10.2.	Especificaciones técnicas de los equipos principales	58
8.1.10.3.	Interacción con otros sistemas	58
8.1.10.4.	Interfaz entre el sistema telefónico y el sistema de grabación	58
8.2.	Subsistema de Comunicación Inalámbrica	58
8.2.1.	Descripción general	58
8.2.2.	Características del Subsistema de Comunicación Inalámbrica	59
8.2.2.1.	Requisitos de carga integral	59
8.2.2.2.	Servicio de voz troncal (trunking)	59
8.2.2.3.	Servicio CCTV a bordo	60
8.2.3.	Composición del Subsistema de Comunicación Inalámbrica	60
8.2.3.1.	Arquitectura	60
8.2.3.2.	Cobertura inalámbrica	60
8.2.3.3.	Sincronización	60
8.2.3.4.	Potencia	61
8.2.3.5.	Composición del equipo	61
8.2.3.6.	Equipamiento del PRTL	61
8.2.3.7.	Equipamiento en estaciones y depósito	61
8.2.3.8.	Equipamiento a bordo (material rodante)	61
8.2.3.9.	Configuración de frecuencia	61
8.2.3.10.	Canal de transmisión	61
8.2.3.11.	Asignación de direcciones IP	62
8.2.4.	Principales Funciones del Subsistema de Comunicación Inalámbrica	62
8.2.4.1.	Funciones para Servicio de Troncalización de voz	62
8.2.4.2.	Funciones de red inalámbrica	63
8.2.4.3.	Funciones de transferencia de datos	63
8.2.4.4.	Funciones de gestión de red	63
8.2.5.	Especificaciones técnicas de los equipos principales	63
8.2.5.1.	Equipos de red central	64
8.2.5.1.1.	Red central:	64
8.2.5.1.2.	Conmutador CE:	64
8.2.5.1.3.	Conmutador central:	64
8.2.5.1.4.	Firewall:	65
8.2.5.1.5.	Servidores de gestión de red / de despacho / de clúster:	65
8.2.5.2.	Equipos Radio Base	65
8.2.5.2.1.	Unidad de procesamiento de banda base BBU	65
8.2.5.2.2.	Unidad de procesamiento de radiofrecuencia (RRU)	65
8.2.5.2.3.	Equipo de conmutación de acceso	66
8.2.5.3.	Equipamiento Embarcado	66
8.2.5.4.	Equipos Portátiles	66
8.2.5.5.	Servidor de gestión de red / Servidor de despacho / Servidor de clúster	67
8.2.5.6.	Antena o cables radiante	67
8.2.6.	Interacción con otros sistemas	67
8.2.6.1.	Sistema de reloj	67
8.2.6.2.	Sistema de transmisión	67
8.2.6.3.	Interfaz con la gestión de red centralizada	68
8.2.6.4.	Interfaz con el sistema de alimentación y puesta a tierra	68
8.2.6.5.	Interfaz con el sistema de señalización	68
8.3.	Sistema de video vigilancia	68
8.3.1.	Descripción general del sistema	68
8.3.2.	Composición del sistema	68
8.3.2.1.1.	Composición del equipo en el centro de control	68



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

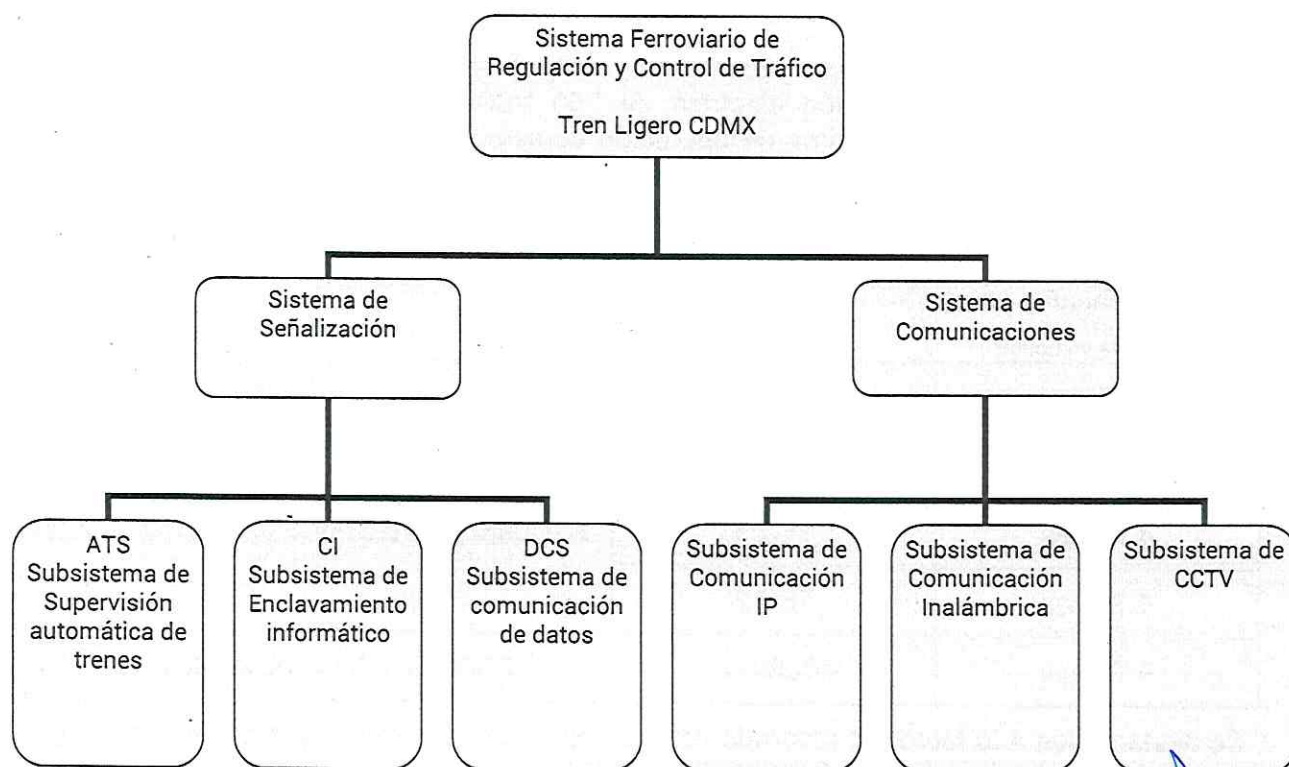
8.3.2.1.2.	Composición del equipo en el depósito de trenes	69
8.3.2.1.3.	Composición del equipo en las estaciones	69
Incluye principalmente: switch de acceso, equipo de almacenamiento de video y cámaras		69
8.3.2.1.4.	Composición de equipamiento en trenes	69
8.3.3.	Requisitos funcionales del sistema de video vigilancia	69
8.3.3.1.	El sistema de gestión de video proporcionado por el licitante debe cumplir al menos con las siguientes funciones: 69	
8.3.3.2.	El sistema de almacenamiento de video proporcionado por el licitante debe cumplir al menos con las siguientes funciones:	69
8.3.3.3.	Las cámaras proporcionadas por el licitante deben cumplir al menos con las siguientes funciones:	69
8.3.4.	Especificaciones técnicas de los equipos principales	69
8.3.5.	Interfaz con otros sistemas	71
9.	Capacitación	71
9.1.	Programa de capacitación	72
9.2.	Capacitación on-site	72
9.3.	Evaluaciones al personal operativo y de mantenimiento	73
9.4.	Costos de capacitación	73
10.	Garantía	74
10.1.	Garantía Normal	74
10.2.	Garantía de Fabricantes	74
10.3.	Garantía de Software	74
10.4.	Trabajos y Obligaciones durante el Período de Garantía	75
10.5.	Residencia Técnica para Atención de Garantías	75
11.	Documentación Técnica y de Control de Gestión	76
11.1.	Requisitos generales	76
11.2.	Documentos de gestión	76
11.2.1.	Programa de Trabajo	76
11.2.2.	Informe de actividades	77
11.2.3.	Documentación de informes de pruebas	77
11.3.	Documentos técnicos	77
11.3.1.	Elaboración de Documentos	78
11.3.2.	Diseño y planos	78
11.3.3.	Manuales de instalación	78
11.3.4.	Manuales de operación	79
11.3.5.	Manuales de mantenimiento	79
11.4.	Documentación de Cumplimiento	79



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

1. Objetivo.

Establecer los requerimientos técnicos de diseño, fabricación e inspección de fabricación, adquisición y suministro de componentes, embalaje, aseguramiento, transporte, gestión y coordinación del proyecto de señalización y comunicación, así como la instalación, pruebas, puesta en operación, aceptación capacitación del personal y prestación de servicios de post-venta durante el periodo de garantía normal incluyendo el suministro de documentación, planos, archivos y memorias de cálculo necesarios para garantizar la debida integración de un Sistema Ferroviario de Regulación y Control de Tráfico para la operación de la Línea del Tren Ligero de la Ciudad de México, administrado por el Servicio de Transportes Eléctricos de la Ciudad de México.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

2. Descripción.

El Servicio de Transportes Eléctricos de la Ciudad de México requiere de la integración de un Sistema Ferroviario de Regulación y Control de Tráfico para operación de la Línea del Tren Ligero de la Ciudad de México.

Este modo de transporte inició operaciones en el año 1986 y corresponde a un sistema ferroviario urbano de transporte público de pasajeros que presta su servicio en la zona sur de la Ciudad de México.

Cuenta con una infraestructura compuesta por 16 estaciones intermedias y 2 terminales (Tasqueña y Xochimilco), 1 taller de mantenimiento, conectados a través de un sistema de vía doble (ancho estándar 1,435 mm) realizando un recorrido aproximado de 13.04 km en cada sentido.

Cuenta con una flota vehicular operacional compuesta por 21 Trenes Ligeros articulados bidireccionales, de alimentación eléctrica de 750 VCC a través de Catenaria, capaces de desarrollar una velocidad máxima de operación comercial de 80 Km/h, siendo actualmente el intervalo de operación de 300 segundos, realizando el recorrido de Terminal a Terminal en un tiempo aproximado de 30 minutos a una velocidad promedio de 22 Km/h, para transportar a un promedio anual de 23 millones de pasajeros.

La flota vehicular en operación se compone de las siguientes unidades:

Tabla 1. Flota vehicular

Cantidad	Modelo	Fabricante
4 Trenes	TE-95	Bombardier Transportation México, S.A. de C.V.
4 Trenes	TE-06	
4 Trenes	TE-12	
9 Trenes	MCLRV-22	CRRC Zhuzhou Locomotive, Co., Ltd

Se destaca que a lo largo del recorrido de la Línea se ubican 9 cruceros a nivel en los que hay convivencia con tránsito vehicular y peatonal.

Para el control y gestión de la flota se cuenta con un Puesto de Regulación de Tren Ligero desde donde se realiza el monitoreo del comportamiento de la Línea y la flota vehicular y a través del cual se establecen las comunicaciones y las indicaciones para la operación de la Línea.

Para garantizar que la operación de este modo de transporte se siga realizando de la forma más eficiente y segura, ante la necesidad de incrementar la flota vehicular para atender la creciente demanda de usuarios; se requiere del diseño, instalación y puesta en operación de un Sistema Ferroviario de Regulación y Control de Tráfico para operación de la Línea del Tren Ligero, el cual deberá estar concebido bajo la integración de componentes, dispositivos y equipos tecnológicos de última generación, de aplicación ferroviaria, que en su conjunto ofrezcan las funcionalidades



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

apropiadas, diseñadas de manera específica a las condiciones de operación de la Línea de Tren Ligero de la Ciudad de México, con la finalidad de brindar a los usuarios de este modo de transporte una experiencia de calidad, con altos índices de seguridad, reducir tiempos de traslado y a su vez minimizar el impacto asociado al mantenimiento.

El Sistema Ferroviario de Regulación y Control de Tráfico para operación de la Línea del Tren Ligero debe diseñarse de manera integral, con una arquitectura escalable, basada en equipos y servicios de última generación a través de la cual se realice la integración del conjunto de componentes, dispositivos, equipos, mecanismos, sistemas y subsistemas, (embarcados, de vía y en el Puesto de Regulación de Tren Ligero), requeridos para garantizar la localización, señalización, monitoreo y comunicación necesarios para lograr una operación moderna, eficiente, gestionable, cómoda y segura de este modo de transporte.

Con la finalidad de garantizar un alto grado de flexibilidad en la concepción del Sistema y facilitar su configuración de acuerdo a los diferentes escenarios de operación aplicables, las propuestas deberán estar desarrolladas a partir de soluciones de sistemas de gestión, señalización, comunicación y control estándar, diseñadas y probadas en el ámbito ferroviario, basadas en una arquitectura abierta, de construcción modular, configurable y bajo el cumplimiento de los estándares internacionales aplicables.

[Handwritten signatures and initials in blue ink]

Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

3. Alcance del Documento.

Establecer los aspectos que deberá observar el "**Licitante**" para la integración de la propuesta técnica que desarrolle la descripción detallada sobre el diseño, fabricación e inspección de fabricación, adquisición y suministro de componentes, embalaje, aseguramiento, transporte, gestión y coordinación del proyecto de señalización y comunicación, así como la instalación, pruebas, puesta en operación, aceptación capacitación del personal y prestación de servicios de post-venta durante el periodo de garantía normal incluyendo el suministro de documentación, planos, archivos y memorias de cálculo necesarios para garantizar la debida integración de un Sistema Ferroviario de Regulación y Control de Tráfico para la operación de la Línea del Tren Ligero de la Ciudad de México.

La propuesta técnica deberá integrar y describir de forma detallada, la siguiente información:

- Plan de implementación para el Sistema Ferroviario de Regulación y Control de Tráfico para la operación de la Línea del Tren Ligero de la Ciudad de México, considerando la identificación y descripción de las actividades relevantes y los plazos de implementación e integración de los componentes, dispositivos, equipos, mecanismos, sistemas y subsistemas necesarios para entregar las funcionalidades solicitadas, en cumplimiento a lo establecido en la presente Especificación Técnica;
- Desarrollo de la descripción funcional de los componentes, dispositivos, equipos, mecanismos, sistemas y subsistemas que en su conjunto integran el Sistema Ferroviario de Regulación y Control de Tráfico propuesto para la operación de la Línea del Tren Ligero de la Ciudad de México, para garantizar el cumplimiento de los alcances establecidos en la presente Especificación Técnica;
- Protocolos de pruebas funcionales y de operación de los componentes, dispositivos, equipos, mecanismos, sistemas y subsistemas que en su conjunto integran el Sistema Ferroviario de Regulación y Control de Tráfico para la operación de la Línea del Tren Ligero de la Ciudad de México, considerando, las pruebas de aceptación en fábrica (FAT, por sus siglas en inglés) y pruebas de aceptación en sitio (SAT, por sus siglas en inglés), así como su instalación y acondicionamiento para inicio de operaciones;
- La logística para el suministro del Sistema Ferroviario de Regulación y Control de Tráfico para la operación de la Línea del Tren Ligero de la Ciudad de México, considerando el embalaje, envío, transporte, almacenamiento y aseguramiento hasta la entrega, implementación y puesta en operación, en las instalaciones de la línea de Tren Ligero de la Ciudad de México;
- Propuesta de Planes y Programas generales para la capacitación del personal del Servicio de Transportes Eléctricos de la Ciudad de México, necesarios para garantizar la adecuada operación y mantenimiento de los componentes, dispositivos, equipos, mecanismos, sistemas y subsistemas que en su conjunto integran el Sistema Ferroviario de Regulación y Control de Tráfico para la operación de la Línea del Tren Ligero de la Ciudad de México;
- Propuesta de Programa de Mantenimiento Preventivo para el periodo de Garantía Normal, que incluya la descripción general del suministro de partes (incluyendo repuestos,



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

herramientas de mantenimiento, equipos de prueba e instrumentos de medición) necesarias para garantizar las condiciones de operación de los componentes, dispositivos, equipos, mecanismos, sistemas y subsistemas que en su conjunto integran el Sistema Ferroviario de Regulación y Control de Tráfico para la operación de la Línea del Tren Ligero de la Ciudad de México;

- Descripción de los equipos y materiales asociados al suministro del Sistema Ferroviario de Regulación y Control de Tráfico para la operación de la Línea del Tren Ligero de la Ciudad de México, necesarios para garantizar la operación y su mantenimiento;

[Handwritten signatures and initials in blue ink]

Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

4. Definiciones y Abreviaturas.

Para efectos de la Presente Especificación Técnica se emplearán, salvo se exprese lo contrario, las siguientes definiciones y abreviaturas:

ATS: Supervisión Automática de Trenes (Automatic Train Supervision)

AX: Relé de seguridad (Safety-type relay)

Catenaria: Cable aéreo de alimentación que transmiten energía eléctrica al material rodante ferroviario.

CI: Enclavamiento informático (Computer-based Interlocking)

DCS: Sistema de Comunicación de Datos (Data Communications System)

IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

ISO: Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization)

ITU: Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Telecommunication Union)

Licitante: Persona física o moral que adquirió las Bases de Licitación para participar en el Proceso de Licitación Pública Internacional objeto de la presente Especificación Técnica.

MTBF: Tiempo medio entre fallos (Mean Time Between Failures)

MTBSF: Tiempo medio entre fallos de servicio (Mean Time Between Services Failure)

MTTR: Tiempo medio de reparación (Mean Time to Repair)

PRTL: Puesto de Regulación de Tren Ligero

Pruebas FAT: Pruebas de Aceptación en Fábrica. (Factory Acceptance Test)

Pruebas SAT: Pruebas de Aceptación en Sitio. (Site Acceptance Test)

SIL: SIL, Nivel de Integridad de Seguridad (Safety Integrity Level)

Sistema FRCT: Sistema Ferroviario de Regulación y Control de Tráfico para la operación de la Línea del Tren Ligero de la Ciudad de México.

STECDMX: Servicio de Transportes Eléctricos de la Ciudad de México.

UPS: Sistema de alimentación ininterrumpida (Uninterruptible Power Supply)

Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

5. Alcance de los trabajos

El alcance de los trabajos para la Adquisición de un Sistema Ferroviario de Regulación y Control de Tráfico "**Sistema FRCT**" para la operación de la Línea del Tren Ligero de la Ciudad de México, incluyen el diseño, suministro, instalación, puesta en operación, pruebas y aceptación de equipos y materiales requeridos para la implementación de los **Sistemas de Señalización y Comunicaciones** en: material rodante, 18 estaciones, aparatos de vías en terminales, zonas de baja visibilidad, taller de mantenimiento y su integración con el Puesto de Regulación de Tren Ligero "**PRTL**" de conformidad con los siguientes alcances particulares:

1. Diseño, suministro, instalación, supervisión de la instalación, pruebas, puesta en operación y aceptación del "**Sistema FRCT**";
2. Maniobras para el desmontaje, retiro y disposición final de los componentes, dispositivos, equipos, mecanismos, sistemas del sistema de señalización y comunicaciones existente. Dichos materiales deberán ser entregados en el Depósito Tetepilco cita en Av. Municipio Libre 402 Colonia San Andrés Tetepilco, Alcaldía Iztapalapa C.P. 09440, Ciudad de México para lo cual, deberá generar la documentación necesaria para hacer constar la entrega-recepción de los mismos.
3. Logística para el suministro del "**Sistema FRCT**", considerando el embalaje, envío, transporte, almacenamiento y aseguramiento hasta la entrega, instalación y puesta en operación, en las instalaciones de la línea de Tren Ligero de la Ciudad de México; para lo cual, deberá generar un reporte de suministro y despacho.
4. Gestión local, transporte de equipos y materiales, almacenamiento temporal, y supervisión de las obras durante la implementación y puesta en operación; actividades que deberán estar respaldadas por minutas de trabajo, informes de avance mensual y memorias técnicas de la instalación según corresponda.
5. Diseño, suministro, instalación, supervisión de la instalación, pruebas, puesta en operación y aceptación de los mecanismos de control y automatización para los aparatos de cambio de vías en las estaciones terminales Tasqueña y Xochimilco. Deberá incluir el desarrollo y entrega de planos, diagramas esquemáticos de las instalaciones y manuales de operación y mantenimiento.
6. Diseño, suministro, instalación, supervisión de la instalación, pruebas, puesta en operación y aceptación del **Sistema de Señalización**, considerando:
 - 6.1. Subsistemas y equipos de señalización:
 - 6.1.1. Enclavamiento informático;
 - 6.1.2. Supervisión Automática de Trenes "ATS";
 - 6.1.3. Comunicación de datos "DCS";
 - 6.1.4. Alimentación de señales;
 - 6.1.5. Contadores de ejes;
 - 6.1.6. Cambios de vía;
 - 6.1.7. Señales;
 - 6.1.8. Cables ópticos, etc;



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

- 6.2. Equipos de señalización y de contención (barreras) en nueve cruces a nivel;
- 6.3. Equipos de señalización en estaciones terminales y zonas de baja visibilidad;
- 6.4. Integración del **Sistema de Señalización**, que incluye, pero no se limitan a: cables internos de los gabinetes de señales, cables entre gabinetes de señales y cables terminales de señales.

Para cada uno de los rubros de este numeral, el "**Licitante**" ganador deberá entregar ficha técnica de la marca y modelo del equipo o equipos que componen a cada subsistema, manual de operación, manual de mantenimiento, diagrama esquemático y planos de la instalación.

- 7. Diseño, suministro, instalación, supervisión de la instalación, pruebas, puesta en operación y aceptación del **Sistema de Comunicaciones**, considerando:

- 7.1. Subsistemas y equipos de comunicación

- 7.1.1. Sistema de transmisión,
- 7.1.2. Sistema inalámbrico,
- 7.1.3. Sistema telefónico,
- 7.1.4. Sistema de grabación,
- 7.1.5. Sistema de alimentación,
- 7.1.6. Sistema de relojes,
- 7.1.7. Sistema de fibra óptica principal,
- 7.1.8. Sistema de vigilancia por video.

- 7.2. Integración del **Sistema de Comunicaciones**, que incluye, pero no se limitan a cables internos de los gabinetes de comunicación, cables entre gabinetes de comunicación y cables terminales de comunicación.

Para cada uno de los rubros de este numeral, el "**Licitante**" ganador deberá entregar ficha técnica de la marca y modelo del equipo o equipos que componen a cada subsistema, manual de operación, manual de mantenimiento, diagrama esquemático y planos de la instalación.

- 8. Diseño, suministro, instalación, supervisión de la instalación, pruebas, puesta en operación y aceptación del **Sistema de Comunicaciones** embarcado en material rodante, considerando:

- 8.1. Diseño, suministro e instalación del sistema comunicación a bordo de 10 Trenes de la marca Bombardier;
- 8.2. Diseño, suministro e instalación del sistema de comunicación para 26 Trenes Ligeros de la marca CRRC

Para los equipos embarcados que se instalaran en los Trenes CRRC y Bombardier, el "**Licitante**" ganador deberá entregar ficha técnica de la marca y modelo del equipo o equipos que componen al sistema, manual de operación, manual de mantenimiento, diagrama esquemático y planos de la instalación.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

9. Diseño, suministro, instalación, supervisión de la instalación, pruebas, puesta en operación y aceptación del "PRTL", considerando:

- 9.1. Implementación del Puesto de Regulación de Tráfico "PRTL" y la integración de los **Sistemas de Señalización y Comunicaciones** para envío y monitoreo de comunicaciones de voz y datos desde y hasta el "PRTL".

Para el equipamiento, instalación y puesta en operación del Puesto de Regulación del Tren Ligero, el "Licitante" deberá entregar ficha técnica de la marca y modelo de todos los equipos y materiales empleados, manual de operación, manual de mantenimiento, diagrama esquemático y planos de la instalación.

10. Capacitación y soporte técnico durante la ejecución del proyecto y el periodo de Garantía Normal. El "Licitante" ganador deberá generar un programa de capacitación, acompañado del material didáctico y lista de asistencia de cada capacitación impartida.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

6. Sistema de Señalización.

6.1. Descripción Funcional

El Sistema de Señalización del "**Sistema FRCT**" debe ser un sistema completo que satisfaga las necesidades de las operaciones de transporte ferroviario urbano. Integrado por software completo que cubra todos los sistemas electrónicos necesarios para lograr una operación moderna, eficiente, cómoda y segura, incluyendo el posicionamiento y seguimiento de los Trenes en tiempo real, las Señales de Vía, Cruceiros a Nivel y el "**PRTL**".

El sistema debe ofrecer un conjunto integral de características avanzadas diseñadas para garantizar la operación segura y eficiente de la Línea del Tren Ligero, optimizando tiempos de recorrido mediante la gestión de la línea, proporcionando así servicios de alta calidad a los pasajeros, optimizando la flota operativa y minimizando el impacto del mantenimiento.

El Sistema de señalización propuesta por el "**Licitante**" debe ser integral, basado en equipos y servicios de última generación para los dispositivos, equipos, mecanismos, sistemas y subsistemas que lo conforman, siendo equipos empleados con frecuencia en soluciones estándar.

Para garantizar un alto nivel de flexibilidad y facilitar la configuración del Sistema de Comunicaciones, su diseño se basará en una arquitectura abierta de diseño modular, configurable y permitirá habilitar únicamente los sistemas o subsistemas necesarios y adecuados para la operación de la Línea de Tren Ligero, y que cumplan los estándares internacionales aplicables.

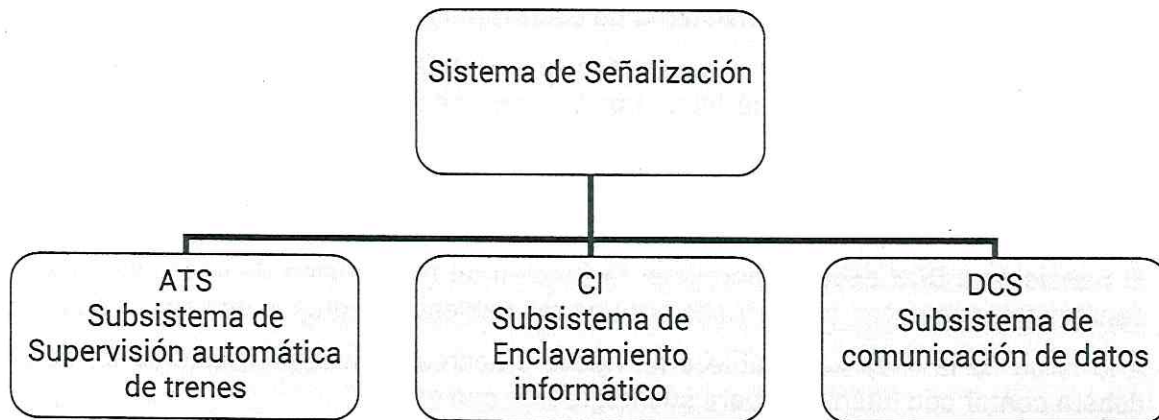
El equipamiento del Sistema de Señalización deberá considerar la integración de los dispositivos, equipos, mecanismos, sistemas y subsistemas para la operación en el "**PRTL**", Estaciones de la Línea, Taller de Mantenimiento y Equipos de Vía. El sistema de señalización propuesto, deberá incluir como mínimo los servicios **ATS**, **CI**, **DCS**, Contadores de ejes, Equipos de señalización, Aparatos para cambio de vía, Fuentes de alimentación, Cableado (óptico, eléctrico, etc.)

El Sistema de Señalización deberá integrar como mínimo, los siguientes subsistemas:

Ilustración 1. Sistema de Señalización - Descripción general



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

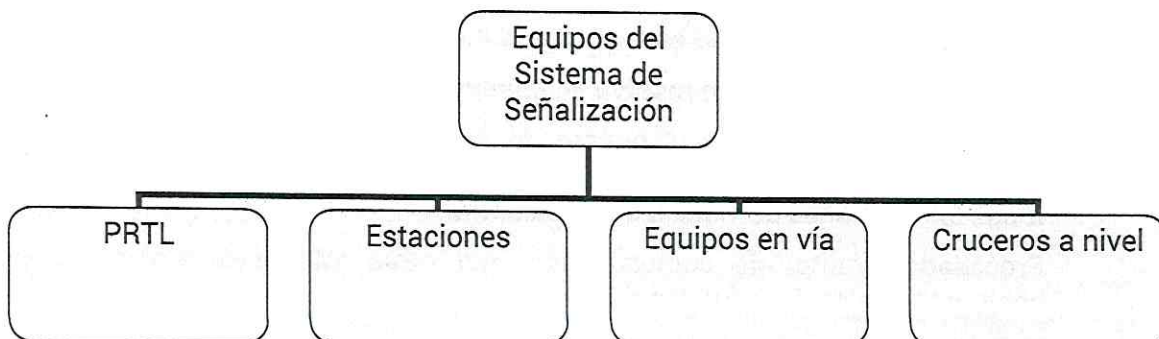


Deberá cumplir con las siguientes características generales:

- Los componentes, dispositivos, equipos, mecanismos, sistemas y subsistemas que integran el Sistema de Señalización deben emplear tecnología, procesos y componentes de última generación para garantizar su mejor desempeño y confiabilidad, el cumplimiento de los estándares técnicos y facilitar la operación y las actividades de autodiagnóstico, mantenimiento y expansión funcional.
- Deben estar alineados con el desarrollo tecnológico de los sistemas de señalización en el transporte ferroviario urbano.
- Historial comprobado de aplicación en proyectos ferroviarios.
- Seguridad, estabilidad y confiabilidad.
- Alta relación costo-beneficio.

Los equipos del Sistema de Señalización se dividen geográficamente en equipos del "PRTL" equipos en Estaciones, Equipos en Vía y Cruceros a Nivel.

Ilustración 2. Distribución de Equipos del Sistema de Señalización





Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

El **Subsistema ATS** gestiona y supervisa automáticamente la operación de los Trenes en toda la línea, con el respaldo del subsistema de enclavamiento.

Los equipos de enclavamiento garantizan la seguridad en las zonas de baja visibilidad o zonas críticas a lo largo de la línea, por lo cual deben adoptar un sistema computarizado redundante.

El diseño de hardware y software del sistema de enclavamiento debe cumplir con el principio de fail-safe (a prueba de fallos).

El **Subsistema DCS** debe proporcionar la función de transmisión de información a través de canales transparentes, conformado por una red cableada y equipos de gestión de red.

A lo largo de la línea se establecerán nueve cruceros a nivel, y el sistema de señalización deberá contar con interfaces para su integración con estos.

6.1.1. Subsistema de Supervisión Automática de Trenes - ATS

Está constituido por los equipos **ATS** ubicados en el "PRTL" y Estaciones de la Línea de Tren Ligero, que emplean redes y equipos para la transmisión y comunicación de datos.

El medio de transmisión de datos para el subsistema **ATS** debe adoptar una estructura de red redundante.

El subsistema **ATS** debe adoptar un modo de funcionamiento redundante de doble canal y conmutación automática al canal de respaldo, de tal manera que, ante cualquier falla o ausencia de comunicación en el canal principal, la información se transmita de manera automática a través del canal de respaldo

La conmutación entre el canal principal y de respaldo debe garantizar la continuidad de la transmisión de datos, y el sistema debe garantizar una visualización y un control correctos, continuos y en tiempo real.

6.1.1.1. Requisitos básicos - Subsistema ATS en el PRTL

El subsistema deberá estar integrado por un servidor en el "PRTL" que adopta una estructura redundante de espera activa de dos máquinas.

Red de comunicaciones de estructura redundante de reserva activa de red dual.

Fuente de alimentación de reserva en gabinete de conmutación automática.

Interfaz redundante para el puesto de despachador (2 estaciones de trabajo del despachador independientes). En caso de falla de una estación, la otra puede realizar todas las funciones de visualización y control.

Procesador frontal de comunicación con otras interfaces profesionales adopta conjuntos duales de redundancia.

Redundancia de espera activa debe lograr una conmutación automática y manual sin



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

perturbaciones, y la conmutación de espera activa debe garantizar funciones de control y visualización continuas.

Posibilidad de configurar equipos de red redundantes para el subsistema **ATS** en el **"PRTL"**.

6.1.1.1.1. Puestos de Trabajo de la sala de control del PRTL

a. Puesto de Despachador

La sala de control del **"PRTL"** deberá estar equipada con un puesto de despachador de trenes, compuesto por dos estaciones de trabajo, a través de las cuales se recibe y muestra información detallada de la operación, conducción, localización de Trenes y diagramas de funcionamiento en tiempo real.

Se instalará un videowall de composición mínima de 2 x 2. A través del cual se desplegará de forma configurable, la información obtenida por el subsistema ATS (visualización de texto, gráficos, imágenes y video).

El software gráfico debe ser vectorial. La disposición de la información en el videowall debe ser coherente con la ubicación y dirección reales de la línea y la terminal de trabajo del despachador.

Dentro del equipamiento se deberá considerar la integración y suministro de una impresora tamaño doble carta, utilizada para imprimir diagramas de funcionamiento, informes de datos y alarmas de fallas.

La sala de control deberá estar equipada con los dispositivos switches de red, enrutadores y otros equipos de transmisión de red, para garantizar la redundancia y conmutación de red dual.

Puesto de Regulación

Adicionalmente, se contará con puesto de trabajo para gestión/edición de itinerarios (corridas/horarios/diagramas de explotación), el cual deberá estar equipado con una pantalla LCD de alta resolución de no menos de 24 pulgadas.

6.1.1.1.2. Configuración del equipamiento de los Puestos de Trabajo de la sala de control

- 1 conjunto de servidor de base de datos redundante (incluida matriz de discos).
- 1 conjunto de servidores de aplicaciones/telecomunicaciones redundantes.
- Switches de red, enrutadores y otros equipos de transmisión de red (redundancia de red dual).
- 1 conjunto de interfaz de telecomunicación redundante.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

- 1 puesto de trabajo de mantenimiento ATS.
- Equipo de suministro de energía (incluido panel de suministro de energía inteligente, UPS y batería, caja de distribución de protección contra rayos de introducción de suministro de energía).

6.1.1.2. Requisitos básicos - Subsistema ATS en Estaciones

Todas las estaciones de la línea de Tren Ligero, deberán estar equipadas con servidores ATS redundantes, enrutadores y equipos de transmisión redundantes, así como estaciones de trabajo locales de control redundantes en cada estación.

Una falla en el equipo de control **ATS** de una estación deberá afectar exclusivamente de manera local a dicha estación y no deberá influir de ninguna manera en el funcionamiento del Sistema **ATS** en el PRTL ni en el resto de las estaciones.

El software utilizado en el sistema **ATS** debe estar basado en una plataforma de red y control computacional vigente en el momento de la entrega del equipo.

El protocolo de transmisión de datos del sistema **ATS** debe cumplir con las normas de comunicación en redes definidas por **ISO**, así como con los estándares de transmisión de datos establecidos por **IEEE** e **ITU**.

La propuesta técnica del "**Licitante**" deberá proponer una configuración de los equipos **ATS** en función de las características del sistema propuesta, cuyo alcance definitivo será definido durante la etapa de revisión de diseño.

6.2. Subsistema de enclavamiento informático - CI

Los equipos asociados al Subsistema **CI** se diseñarán e instalarán en los cuartos técnicos (Sites/Taquillas) ubicados en cada una de las estaciones de la Línea de Tren Ligero. El número de hosts de enclavamiento informático (computadoras de operación lógica de enclavamiento) se dimensionará de acuerdo a las características de la línea y la superficie disponible de los cuartos técnicos de cada estación.

El **CI** garantiza la seguridad de la operación ferroviaria y establece la correcta interconexión entre tramos de vía, agujas y señales. Debe cumplir con el principio de seguridad contra fallos, adoptar una estructura de hardware y un diseño de software de alta fiabilidad y seguridad, y adoptar las medidas necesarias de redundancia de hardware y software.

El **CI** debe adoptar un sistema de enclavamiento totalmente electrónico con una estructura redundante de seguridad de dos por dos. El canal de comunicación entre el subsistema de enclavamiento de computadoras y los sistemas relacionados adyacentes debe configurarse con redundancia de espera activa. La interfaz de seguridad debe tener una función a prueba de fallos.

El **CI** estará integrado por equipos informáticos de enclavamiento, terminales de trabajo de



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

control local (preferiblemente integradas con terminales de trabajo **ATS** de estación), terminales de trabajo de mantenimiento de enclavamiento, unidades de ejecución electrónica (accionamiento y producción) y otros equipos.

Los equipos de procesamiento de datos deberán ser redundantes y los equipos de accionamiento en el CI deben adoptar diseños diferenciados para evitar salidas peligrosas causadas por fallas de modo común. Ante la falla de un equipo de enclavamiento, el equipo redundante debe poder conmutar al sistema de respaldo (o equipo de respaldo) sin interferencias, y el funcionamiento normal del Tren no debe verse afectado durante la conmutación.

El equipo de conmutación/aislamiento de fallas debe poder reiniciarse, y el reinicio no debe afectar ni interrumpir el funcionamiento normal del sistema. Si el reinicio es exitoso, el sistema debe restaurar automáticamente su estructura redundante. El dispositivo de conmutación por error/aislamiento funciona como un sistema de reserva.

El host de enclavamiento debe poder comunicarse con múltiples equipos de accionamiento electrónico a través de una red redundante para facilitar el control de enclavamiento regional y la expansión de los equipos de accionamiento electrónico.

Los equipos de accionamiento electrónico deben realizar un intercambio de información seguro con la unidad de cálculo de enclavamiento a través de una red redundante y un protocolo de comunicación a prueba de fallos, controlar el equipo de señal exterior de acuerdo con el comando de acción del equipo generado por la unidad de cálculo de enclavamiento y recopilar el estado del equipo de señal exterior y transmitirlo a la unidad de cálculo de enclavamiento.

Los equipos o dispositivos accionamiento electrónico bajo el enclavamiento electrónico completo pueden adoptar diseños modulares y estandarizados para configurar diferentes equipos de accionamiento electrónico de acuerdo con las características de diferentes tipos de circuitos de control y objetos de muestreo como interruptores, máquinas de señales, contadores de ejes, etc.

La unidad central de accionamiento electrónico debe estar configurada de forma redundante y diseñada según el principio de seguridad. Cualquier fallo en la unidad central de accionamiento electrónico no deberá provocar acciones peligrosas en los equipos de vía, ni transmitir información errónea que pueda poner en peligro la unidad de cálculo de enclavamiento.

La parte del circuito de accionamiento de la unidad central de accionamiento electrónico debe tener funciones de protección automática contra sobrecarga y cortocircuito de carga.

La unidad central de accionamiento electrónico debe diseñarse de acuerdo con el módulo de tamaño de rack estándar internacional e insertarse en la jaula estándar. La estructura del gabinete o chasis deberá contar con buenas propiedades de disipación de calor, aislamiento térmico, antiestáticas, a prueba de humedad y a prueba de polvo.

La unidad central de accionamiento electrónico debe tener un contacto confiable, una estructura sólida, sin deformación mecánica y debe tener medidas para evitar una inserción



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

incorrecta.

La unidad central de accionamiento electrónico debe recopilar los parámetros de funcionamiento de los equipos de señalización exterior. Estos parámetros pueden transmitirse a otros equipos, como el subsistema de monitorización de mantenimiento, a través del canal de comunicación.

6.3. Subsistema de Comunicación de Datos – DCS

El sistema de señalización integrará una Red Troncal independiente para transmisión de Datos mediante el subsistema **DCS**. Esta red se encargará de transmitir la información del subsistema de seguridad de señalización, la transmisión de información del subsistema de no seguridad de señales y la transmisión entre el centro de control y la estación de línea principal.

La transmisión de datos del subsistema ATS se realiza mediante equipos de transmisión DCS contruidos por el equipo de señalización.

Los nodos de la red troncal DCS (o switches de red) de los equipos deben instalarse en el centro de control y en la estación de concentración de equipos de la línea principal. Los switches de acceso se instalan en ubicaciones relevantes y se conectan a redes troncales redundantes.

El subsistema DCS debe adoptar protocolos e interfaces estándar que cumplan con los estándares nacionales o internacionales, y toda la red cableada debe adoptar IEEE 802.3 Estándar Ethernet.

El canal de transmisión del subsistema DCS debe utilizar un canal de comunicación físico redundante independiente en espera activa. Los canales de transmisión redundantes deben pertenecer a diferentes placas y no deben afectar el funcionamiento normal de los demás. Los canales de transmisión deben formar un anillo físico, y el protocolo de protección de red en anillo correspondiente debe estar habilitado para evitar la proliferación y la circulación incesante de mensajes de transmisión en la red en anillo.

La capa troncal central debe adoptar una topología de anillo autorreparable bidireccional. Si falla un solo dispositivo, no se producirá la pérdida de comunicación con ningún dispositivo de red. Los componentes de la capa central de la red troncal deben configurarse de forma redundante para que la falla de un solo módulo no afecte la comunicación normal de la red redundante. El conmutador de acceso a red de anillo utilizado para la red redundante debe adoptar una configuración redundante.

El número de puertos Ethernet reservados en el conmutador no debe ser inferior a 30%.

Se deben utilizar dos conjuntos de redes Ethernet mutuamente redundantes en el centro de control como medio de comunicación para los servidores, terminales de trabajo y otros equipos del centro de control. Las dos redes Ethernet redundantes están conectadas mediante conmutadores de red. Los conmutadores y los dispositivos informáticos deben estar conectados mediante cables de red de categoría 6 como mínimo para una conexión



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

punto a punto. La velocidad de la red es...100 millones puntos básicos. Las redes Ethernet en estaciones centralizadas de equipos están todas conectadas mediante dispositivos de red redundantes, con una velocidad de red de 100 Mbps.

7. Características del Sistema.

7.1. Requisitos funcionales del subsistema ATS

Con el apoyo del subsistema de enclavamiento, el subsistema ATS completa la gestión y el monitoreo automáticos del funcionamiento de los trenes en toda la línea y debe realizar las siguientes funciones básicas.

7.1.1. Pantalla de información de conducción Información desplegada en el PRTL

El subsistema ATS obtiene principalmente la información sobre la ubicación y el estado de operación de los trenes, así como información sobre el estado del equipo de señalización a lo largo de la línea de Tren Ligero, la cual es proporcionada por el equipo de enclavamiento a través de la red de área local de estaciones.

La información es mostrada en la sala del "PRTL" a través del videowall con la vista unifilar del trazo de la línea de Tren Ligero y estaciones que componen el "Sistema FRCT".

En el Puesto de trabajo de despacho de trenes en el "PRTL", se observa el estado de operación de los equipos de señalización integrados a lo largo de la línea, así como los detalles del estado de operación de los trenes. El subsistema ATS debe garantizar la coherencia en la visualización de la información sobre la ocupación de los trenes en todos los niveles operativos.

El contenido principal de visualización deberá considerar al menos:

- El trazado de línea y estaciones.
- Código de destino, ubicación, estado y número de elementos de señal (incluidas máquinas de señalización, secciones de vía, cambios de vía, etc.)
- Estado de la señal.
- Estado e identificación; número de tren y/o número de corrida.
- Iconos y ubicaciones de trenes.
- El estado de control
- Información de alarmas, registro de operación:
- Información del estado del canal.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

- Estado de funcionamiento de los equipos más importantes.
- Información del estado del canal ATS.
- Tiempo de espera de ejecución del comando ATS.
- Estado de funcionamiento de los equipos de la estación.
- Información sobre el estado de los equipos del sistema de vía (enclavamientos, desvíos, señales).

El sistema de señalización de la línea principal debe ser capaz de mostrar razonablemente el estado de la señal, el estado de la línea, el estado de ocupación de los trenes en la vía y el estado del movimiento de seguimiento de los trenes.

La estación de control en sitio de la estación de concentración de equipos muestra el diseño de las líneas y todas las estaciones dentro de la jurisdicción de la estación de concentración de equipos y entre estaciones adyacentes, la vista general del estado de operación del tren, el estado del equipo de señalización, el estado de la ruta del tren, el número de tren, etc. También puede mostrar escenas detalladas por pantalla de unidad y zoom gráfico, y controlar el equipo de señalización dentro de la jurisdicción a través del teclado y el mouse después de obtener el control.

Todas las estaciones de control local instaladas en la estación de concentración de equipos deben tener derechos de control y la jurisdicción se puede configurar según las necesidades operativas. Cuando se transfieren los derechos de control del centro y la estación, se adopta una operación única para transferir directamente los derechos de control de cada estación centralizada del equipo.

Cuando el control central se transfiere al control de la estación, el estado de control predeterminado del control de la estación es el estado de control manual.

Si la línea de transferencia con la línea actual puede proporcionar información como el estado de ocupación del tren de la estación de transferencia relevante, el sistema ATS debería poder compartir la información relevante entre las estaciones de transferencia y mostrar la pantalla del centro de control, la terminal de trabajo de despacho y la información del sitio de la estación de la línea actual. La terminal de trabajo ATS debe poder mostrar información relevante de las estaciones de transferencia pertinentes, y el contenido específico se determinará durante la etapa de ingeniería básica.

El subsistema ATS debe utilizar métodos gráficos para mostrar el estado de funcionamiento de los equipos del sistema ATS y el estado de la conexión con otros sistemas.

Cuando el subsistema ATS se recupera de una falla, debería ser capaz de restaurar rápidamente su funcionamiento y proporcionar al despachador una interfaz de operación y procedimientos operativos simples.

Todas las pantallas de visualización relacionadas con el diseño de línea deben mostrar de manera uniforme la dirección y la orientación y, en principio, deben seguir la regla de que



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

la línea de enlace ascendente está en la parte inferior y la línea de enlace descendente en la parte superior. Los detalles se determinarán durante la fase de ingeniería básica.

Se debe además poder visualizar el espaciado entre estaciones en las terminales de trabajo ATS.

7.1.2. Identificación del tren o la corrida

El sistema utilizará números de identificación de trenes y/o corridas, movimiento de íconos de trenes y cambios de estado de equipos de señalización relacionados para simular y describir automáticamente el funcionamiento real de los trenes en línea.

El sistema debe ser capaz de gestionar diferentes itinerarios de operación de acuerdo con el diseño de la línea y diferentes esquemas de operación, e identificar automáticamente los trenes que circulan con corridas especiales.

El número de identificación de los trenes podrá componer del número de Tren, número de servicio/corrida, número de serie, número de operador, Indicador de destino, símbolo de dirección de viaje y número de línea. (Los detalles específicos se determinarán durante las reuniones de revisión de diseño)

El sistema debe permitir al despachador en el "PRTL" ingresar, modificar, eliminar, insertar y preestablecer números de identificación de trenes en cualquier momento.

El número de tren se genera directamente desde el diagrama/horario del tren. El número de identificación del tren se rastrea automáticamente a medida que el tren se mueve y el despachador puede modificarlo manualmente, lo que incluye configurarlo, eliminarlo, cambiarlo y modificarlo.

El número de identificación del tren cambia y se muestra en la ventana del número de tren a medida que el tren se mueve. Cuando el tren llega a la estación terminal (es decir, la estación de retorno) y se completa la operación de inversión, el sistema de seguimiento del tren encuentra automáticamente el nuevo número de identificación del tren de acuerdo con el diagrama de implementación, y el nuevo número de identificación del tren se muestra en la vía de inversión o en la ventana del número de vía en la posición actual del tren.

En las entradas de cada vía, sección y rango de monitoreo de la estación del diagrama unifilar de la línea, se encuentran ventanas con números de tren. La ubicación y el número de ventanillas de numeración de trenes se determinan según la densidad del tráfico y las necesidades operativas. Los requisitos de visualización en el "PRTL" deberán ser como mínimo:

- Para los trenes programados, identificados con el Indicador TE y el número de tren.
- La ventana del tren muestra el número de destino + el número del grupo del tren, donde el número de destino tiene 2 dígitos y el número del grupo del tren tiene 3



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

dígitos.

- La ventana del número de tren muestra $M + \text{número de tren}$.
- Corridos especiales, para facilitar que el personal de despacho identifique los trenes de corridos especiales, se requiere que el número de identificación del tren se muestre con un número especial (el nombre específico se determina de acuerdo con las necesidades operativas).

Para la visualización del número de identificación en la terminal de trabajo del despachador en el "PRTL", se muestran diferentes contenidos en diferentes pantallas de diálogo hombre-máquina, y se puede agregar cierta información, como información de retraso del tren (en diferentes colores), modificación del tiempo de ajuste de operación manual, etc.

Se pueden proporcionar menús de operación en la terminal de trabajo de despacho en el centro de control y en la terminal de trabajo de control en el sitio en la estación, como ajuste de pantalla, cambio, selección, zoom, etc. La pantalla debe ser clara e inequívoca y fácil de observar para el despachador.

La composición del número de identificación del tren específico y el método de visualización se determinará durante la etapa de ingeniería básica y deben garantizar que se cumplan los requisitos operativos.

Gestión de diagramas/horarios de trenes:

El diagrama/horario del tren incluye:

- Diagrama/cronograma básico.
- Diagrama/cronograma de operaciones planificadas.
- Diagrama/cronograma de funcionamiento real.

El diagrama/cronograma básico incluye:

- El diagrama/cronograma de operación básica se divide en varios diagramas/horarios de operación básica de trenes para días laborables, feriados, diferentes estaciones, diferentes horas de operación del día, eventos temporales, etc.
- El despachador ingresa los datos básicos del diagrama básico de operación, como el tiempo de recorrido de cada sección, el tiempo de parada en las estaciones, el intervalo de recorrido, las estaciones de inicio y fin, el periodo de tiempo, el número de trenes disponibles, los requisitos de retorno de trenes, etc. El sistema debe poder completar automáticamente la compilación del cronograma básico de operación de trenes con la ayuda de una computadora.
- Deberá ser posible compilar diagramas de funcionamiento para diversas situaciones operativas. El horario incluye la operación de trenes que parten de la vía de acceso a vía principal, trenes que parten de cualquier estación de la línea



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

principal y saltan paradas en todas las estaciones a lo largo del camino para regresar directamente a la terminal o al taller de mantenimiento, etc.

- Durante la preparación del diagrama de operaciones, se deben realizar automáticamente verificaciones de conflictos y se deben dar indicaciones y sugerencias claras para optimizar las soluciones de conflictos.
- La edición y gestión de cronogramas de operaciones básicas se completan en la terminal de trabajo de edición de cronogramas de operaciones.
- El sistema ATS puede generar automáticamente diagramas de operaciones u horarios basados en archivos en formatos acordados (como formato Excel) para que los despachadores puedan consultarlos.
- Una vez completado el diagrama básico, se almacena en la base de datos según diferentes tipos para que el despachador pueda usarlo en cualquier momento.
- Los datos del diagrama básico no podrán modificarse sin autorización. Cuando sea necesaria alguna modificación, ésta deberá ser realizada por personal autorizado especializado de acuerdo con las órdenes pertinentes.
- No debe haber menos de 512 diagramas operativos básicos almacenados en la computadora. Los datos del diagrama básico deben almacenarse de forma segura y conservarse fácilmente durante mucho tiempo.
- El sistema debe proporcionar un diagrama básico científico, razonable y óptimo basado en las características operativas de la línea de Tren Ligero.
- El diagrama/cronograma básico contiene la siguiente información clave:
 - a. Número de tren.
 - b. tiempo de operación de la sección.
 - c. Horarios de llegada y salida de la estación.
 - d. Tiempo de parada.
 - e. Trayectoria del tren.
 - f. Información sobre el cambio de sentido del tren.
 - g. Datos de secciones y estaciones, etc.

Requisitos relacionados con el diagrama básico (incluidos, entre otros):

- Formato de cronograma de operación de trenes
 - a. Hay tres tipos de líneas en el horario de trenes: líneas horizontales, líneas verticales y
 - b. Normativa sobre numeración de trenes y numeración de trenes:

Los requisitos para la elaboración del diagrama operativo básico se determinarán en detalle durante la fase de revisión de diseño.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

7.1.3. Diagrama/cronograma de funcionamiento planificado:

Según el plan de operaciones y el plan de operaciones del tren para el día, el sistema selecciona automáticamente el diagrama/horario básico de operaciones del día o el despachador selecciona el horario básico de operaciones adecuado en la terminal de trabajo de visualización del diagrama de operaciones. Tras la modificación y confirmación, se convierte en el diagrama/horario de operaciones planificado para el día. El subsistema ATS organiza e implementa la operación del tren del día según corresponda.

Durante el servicio, el cronograma de funcionamiento planificado para el día también se puede modificar en línea.

La edición y gestión del cronograma de operaciones planificado se completa en la terminal de trabajo de edición de cronogramas.

7.1.4. Diagrama/cronograma de funcionamiento real

El diagrama/horario de operación real es generado automáticamente por el subsistema ATS en función de la situación real de operación del tren y es mostrado en la terminal de trabajo de visualización del diagrama de operación.

Puede almacenarse en dispositivos de grabación externos, como discos y CD, y conservarse en la base de datos durante no menos de 180 días. Cuando la cantidad de datos es grande, debería ser posible hacer una copia de seguridad de ellos y escribirlos en un disco duro para almacenamiento a largo plazo.

También deberá elaborarse el diagrama de funcionamiento real para los trenes no programados.

El diagrama/horario de operación real se puede imprimir de acuerdo con el período de tiempo especificado o el tren especificado. En el estado fuera de línea, se puede dibujar el diagrama de operación del tren real en cualquier momento, o se puede imprimir el horario real de operación del tren.

El diagrama de operación planificado y el diagrama de operación real se muestran simultáneamente en la misma pantalla de la terminal de trabajo, con diferentes colores de fondo y líneas. La hora actual se utiliza como línea divisoria, y el diagrama de operación real se presenta a medida que transcurre el tiempo.

7.1.5. Control de rutas de trenes

El subsistema ATS controla la ruta del tren de las siguientes formas:

- Control automático



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

- Control manual

El control automático de la ruta del tren se puede dividir en ATS automático central y ATS automático de estación.

En circunstancias normales, el sistema establece automáticamente la ruta del tren y dirige la operación del tren en línea de acuerdo con el diagrama/horario de operación del tren, la información de operación del tren en línea y la tabla de enclavamiento de estaciones.

El despachador central y el encargado de la estación pueden controlar manualmente la corrida del tren a través de sus respectivas estaciones de control. El despachador central debe controlar la ruta mediante un menú. Los principales contenidos de control incluyen:

- Cambiar el diagrama/cronograma de operaciones planificado.
- Establecer y cancelar corridas.
- Emitir instrucciones de corridas en tiempo real.
- Poner algunas o todas las señales en el modo de control automático relevante.
- Establecer instrucciones de detención de vehículos, salida anticipada y omisión de paradas.
- Cambio de control.

Cuando se utiliza el menú para procesar, el ATS tiene la función de obtener una vista previa y solicitar la ruta de procesamiento planificada.

El sistema debe tener la función de conmutación entre el control central y el control de la estación. En circunstancias normales, el área principal está controlada por el ATS central. Los derechos de control entre el centro de control y la estación se pueden transferir mediante autorización. Los requisitos para la conmutación entre el control central y el control desde estación incluyen:

- Al realizar la conmutación entre ellos, se debe garantizar que los comandos se ejecuten normalmente.
- Al cambiar del control de la estación al control central, el comando de control de ruta del centro debe estar en estado de control automático.
- La estación puede transferir incondicionalmente el control del centro a la estación.

Las estaciones de trabajo de operación de control ATS deberán adoptar una implementación de gestión de autorización estricta y segura para garantizar la exactitud y singularidad de la salida del comando de control, y no se permite que múltiples estaciones de trabajo de control controlen el mismo objetivo al mismo tiempo.

Un fallo del equipo de control ATS en una estación no deberá afectar el funcionamiento de todo el subsistema ATS.

El sistema debe poder controlar la corrida del tren de acuerdo con el principio de prioridad,



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

es decir, el control local tiene prioridad sobre el control central, el control manual tiene prioridad sobre el control automático. El orden de prioridad del sistema para el control de la corrida del tren es el siguiente:

- Despachador de servicio de la estación terminal.
- Despachador central.
- Control automático de ruta.

Cuando el ATS en el centro de control falla y el derecho de control no se transfiere al control de la estación, la terminal ATS de la estación debe organizar automáticamente las rutas y controlar los horarios de salida basándose en información como el horario, el número de identificación del tren y la ubicación del tren.

7.1.6. Ajuste del funcionamiento del tren:

Los ajustes del sistema a las operaciones del tren se dividen en ajustes automáticos y ajustes manuales.

Cuando hay una pequeña desviación entre el funcionamiento real del tren y el diagrama de funcionamiento planificado (el valor de la desviación puede ser establecido por el despachador), el sistema ajusta automáticamente el plan de funcionamiento del tren y controla el tren para que funcione hasta el estado puntual.

Cuando exista una desviación importante entre la operación real del tren y el diagrama de operación planificado, el sistema emitirá una alarma. Simultáneamente, el sistema generará automáticamente un plan de ajuste para el despachador, basado en la desviación de la operación real del tren.

Cuando la desviación entre la operación real de un tren y el diagrama de operación planificado supere un rango determinado, el sistema emitirá una alarma y generará automáticamente un plan de ajuste para todos los trenes, basándose en el principio de intervalos de operación iguales, según la estación de salida o la estación terminal. Tras la confirmación del despachador, se ajustará la operación de los trenes en toda la línea.

Cuando el despachador considera necesario modificar el diagrama/horario de operación planificado, puede intervenir manualmente para ajustar el plan de operación del tren, y el sistema ejecutará automáticamente el plan ajustado y controlará la operación del tren.

El subsistema ATS debe tener una estrategia para el ajuste automático de la operación del tren.

Los métodos de ajuste automático del funcionamiento del tren incluyen, entre otros:

- Cambiar el tiempo de funcionamiento del intervalo del tren.
- Cambios en los horarios de parada de las estaciones de tren.
- Configurar para ajustar automáticamente a intervalos regulares, etc.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

- Los métodos de ajuste manual para la operación del tren incluyen, entre otros:
- Implementar "detención/cancelación de detención", "salida anticipada" o "salto de parada/cancelación de salto de parada" en los trenes o plataformas pertinentes (individuales o en todos).
- Cambiar el tiempo de recorrido del tren y el tiempo de parada en la estación en la sección.
- Cambiar las estaciones de salida y llegada del tren y la hora de salida, y ajustar las horas de entrada y salida del tren.
- Modificación en línea del diagrama/horario de operaciones implementado, como "agregar/eliminar líneas de tren" y "cambiar líneas de tren".
- Cambiar la ruta de circulación del tren, etc.

Los requisitos para la función de retención de tren son los siguientes:

- El comando de detención del tren en la plataforma se puede configurar con anticipación, antes de que el tren llegue a la plataforma, o se puede configurar después de que el tren ingrese a la plataforma, pero antes de la salida. Este comando solo puede controlar una estación a la vez.
- Independientemente de si el control está en el centro o en la estación, el centro siempre tiene la función de retención manual de trenes. Como norma general, cuando un tren es retenido por el centro o la estación, la cancelación de la retención debe ser realizada por la misma parte que la aplicó. Sin embargo, si el centro retiene un tren y posteriormente se interrumpe la comunicación entre el sistema ATS del centro y el de la estación, la estación debe contar con la capacidad de cancelar la retención impuesta por el centro.
- La terminal de trabajo debe tener la función de avisar que la estación donde está detenido el tren no está en el mapa de estaciones actual. Cuando la estación detenida no se encuentra en la pantalla actual, el despachador puede hacer clic en el botón de aviso de detención en la pantalla principal. El sistema mostrará automáticamente un cuadro de diálogo para informarle qué andén, en una dirección específica de esas estaciones, gestionará la operación de detención. Al hacer clic en el nombre del andén correspondiente, la pantalla principal de su terminal de trabajo cambiará inmediatamente a la pantalla del patio de la estación correspondiente. Cuando se lleva a cabo una operación de incautación de un vehículo, todas las terminales de trabajo del despachador cambiarán los botones de aviso de incautación de los vehículos incautados a un estado de incautación exitosa (por ejemplo, intermitente o rojo), lo que indica al despachador que preste atención a la situación de incautación.

Los requisitos relevantes para la función de saltarse una parada son los siguientes:

- La orden de saltarse paradas se utiliza para notificar a un tren específico que no



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

se detendrá en la próxima estación de la línea principal y pasará directamente. Esta función puede configurarse en la dirección normal de circulación de la línea. La orden de saltarse paradas puede aplicarse tanto al control de un tren en particular como al control de una estación. A través de esta configuración, es posible hacer que un tren específico no se detenga en una o varias estaciones, así como también configurar que una estación determinada se salteé por un solo tren o por todos los trenes.

- El sistema configura automáticamente las estaciones que los trenes deben saltarse, de acuerdo con las necesidades operativas
- La función de saltarse paradas solo puede aplicarse si no se ha realizado previamente una operación de retención de trenes. Si un tren está en estado de saltarse paradas y posteriormente se ejecuta una operación de retención, la función de saltarse paradas se desactiva automáticamente.

Los requisitos para la función de salida anticipada son los siguientes:

- La función de salida anticipada se utiliza para indicarle al tren que se encuentra actualmente en el andén que salga inmediatamente.
- La salida anticipada solo se puede procesar sin embargo ni bloqueo del vehículo, de lo contrario el sistema mostrará un mensaje de error correspondiente.

7.1.7. Consulta de operación de trenes:

El sistema debe permitir a los despachadores consultar el horario planificado de circulación de un determinado tren, y también consultar el horario de los trenes planificados en circulación en una determinada estación.

El sistema debe permitir a los despachadores consultar la información actual de la operación de los trenes en línea, así como listar las estaciones y secciones donde se encuentra un tren o todos los trenes en circulación, según sea necesario, y proporcionar recordatorios sobre el estado de la operación de trenes, tanto anticipada como tardía.

Asimismo, puede listar el estado de la posición de los trenes en una o todas las estaciones, y configurar y mostrar información como paradas, detenciones, paradas omitidas, tiempo de parada en la estación, dirección de la marcha, etc.

7.1.8. Registros de operaciones e informes estadísticos:

Todas las operaciones del despachador central, del despachador en la estación terminal, el estado de funcionamiento del tren y el estado de funcionamiento del equipo se registran y guardan en la base de datos del sistema en un formato de archivo estándar durante un año y se pueden contabilizar y analizar.

El sistema ATS debe tener una función de reproducción en línea y los registros de



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

reproducción deben guardarse durante no menos de 30 días y se pueden transferir automáticamente a una ubicación de almacenamiento externo designada.

Todas las operaciones del despachador central, del despachador en la estación terminal, así como el estado de los trenes y el funcionamiento de los equipos, pueden reproducirse y exportarse a los dispositivos de almacenamiento e impresión designados, de forma automática o según las instrucciones del usuario. El sistema debe proporcionar interfaces de software y hardware para la lectura externa de estos datos.

En la terminal del Taller de Mantenimiento y el "PRTL", el sistema debe poder registrar y respaldar información diversa sobre la operación, información del estado de operación del equipo y datos de operación, y tener la función de reproducir el proceso en cualquier momento y en cualquier punto de información basado en los datos registrados, con opciones de avance, retroceso y velocidad de reproducción. El contenido mínimo de los registros e informes estadísticos es:

- Horarios de llegada, salida y desvíos de los trenes en las distintas estaciones.
- Dato de si el tren llega más temprano o más tarde de lo previsto.
- Índice de puntualidad de trenes (con funciones como estadísticas sobre el índice de puntualidad según número de tren, estación, horario y índice de puntualidad diario, que se especificarán en la etapa de ingeniería básica específico).
- Tasa de salida puntual.
- Tasa de llegada a tiempo.
- Tasa de aprobación.
- Control de acceso.
- El estado de los equipos básicos de señalización.

El contenido y los métodos de análisis estadístico de trenes retrasados son los siguientes:

- El horario para contar el número de trenes retrasados se puede ajustar de forma arbitraria, lo que requiere que el sistema genere automáticamente un informe estadístico para el día posterior al último tren todos los días.
- Se introduce la hora de inicio y de finalización y se cuenta el número de trenes retrasados dentro de los períodos de tiempo de inicio y de finalización.
- Estadísticas sobre el número de trenes retrasados. De acuerdo con los parámetros de tiempo ingresados por el despachador, se puede contar en cualquier momento el número de trenes retrasados en ese momento.
- La consulta y las estadísticas de los trenes retrasados se pueden consultar por hora (día), por número de tren, por ubicación y por conjunto de trenes.

Se pueden imprimir diversas estadísticas e índices en forma de gráficos e informes. Los



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

informes estadísticos deben incluir números de trenes, grupos de trenes, tiempos de retraso, etc. Los datos almacenados se pueden utilizar con el software de aplicación estándar Excel o similar.

El sistema debe archivar y registrar automáticamente todos los comandos manuales de nivel de estación y de nivel central, la ejecución automática de comandos y otra información para referencia futura.

Para proporcionar registros precisos y secuenciales de eventos, la hora de referencia para el registro de tiempo de cada evento debe ser la fecha y la señal de hora del reloj maestro proporcionada por el sistema de comunicación.

Los usuarios pueden reproducir imágenes del proceso operativo histórico en cualquier período de tiempo dentro de una semana basándose en los datos registrados en las terminales de trabajo de mantenimiento y en las terminales de trabajo del despachador. El proceso de operación histórica incluye: operación del despachador, estado de funcionamiento del tren, estado de operación del sistema, etc. La operación de reproducción debe tener parámetros de reproducción variables (2X ~ 10X) Puede avanzar rápidamente, rebobinar, pausar, etc.

El "**Licitante**" deberá presentar dentro de su propuesta técnica, ejemplos de registros detallados y el contenido de los informes estadísticos, no obstante, la definición de los mismos se realizará durante la etapa de revisión de diseño.

7.1.9. Alarma de fallos

El subsistema ATS debe tener funciones completas de autodiagnóstico, monitoreo del estado de operación del equipo y alarma de fallas. La estación de mantenimiento del sistema puede supervisar el estado operativo del equipo y proporcionar una interfaz para las alarmas de fallos. Asimismo, las alarmas de fallos importantes deben mostrarse en las terminales de trabajo del despachador en el "**PRTL**" y en la estación terminal.

A través del Videowall y la visualización de la estación terminal de despacho, se pueden monitorear las estaciones de la línea principal y las secciones de vía, los cambios, las señales, los números de identificación de los trenes, el estado de la operación del tren en línea, el estado de ejecución de comandos y el estado del equipo del sistema. Cuando ocurre una anomalía en el funcionamiento del tren o en el equipo de señalización, la computadora del "**PRTL**" envía automáticamente información relevante a la terminal de trabajo de despacho para emitir una alarma y avisar del origen de la falla. La información de alarma debe ser clara, precisa e instructiva para la resolución de problemas. Debe imprimirse en tiempo real y guardarse fácilmente como archivo de texto.

El nivel de clasificación, la dirección del flujo y otras características de toda la información de alarma deben poder configurarse y ajustarse manualmente según las necesidades de operación y mantenimiento. En la terminal de trabajo de mantenimiento designada, el software del sistema debe proporcionar una interfaz hombre-máquina que sea intuitiva, así como una función de gestión de autorizaciones para este requisito.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

Las alarmas deben dividirse en tres categorías: A, B y C, según se detalla a continuación:

- Categoría A: daño directo al funcionamiento y equipo del tren.
- Categoría B: situaciones que afectarán la operación del tren.
- Clase C, situación de alarma general.

Las alarmas del sistema deben listarse por nivel y mostrarse en la estación de trabajo de mantenimiento. Las alarmas importantes deben mostrarse en la estación del despachador y deben ser confirmadas por este. La pantalla de información de alarma incluye:

- Año/mes/día/hora/minuto/segundo.
- Nombre de la alarma.
- Contenido de la alarma.
- Tipo de alarma.
- Ubicación de la alarma.
- Hora de confirmación de alarma, etc.

Las alarmas deben mostrarse en diferentes colores según su gravedad y su estado de confirmación y procesamiento, y se debe proporcionar información inmediata. La información de alarma que requiera un procesamiento o confirmación oportunos debe ir acompañada de una alarma sonora.

El contenido impreso de la alarma de fallo se puede seleccionar y componer manualmente, pero el contenido del evento y la alarma no se pueden modificar. Todos los eventos y alarmas de fallo se pueden guardar en tiempo real mediante un dispositivo de almacenamiento seguro.

Envío de mensaje/recordatorio: el despachador puede configurar algunos registros de mensaje/recordatorio en la terminal de trabajo ATS, de modo que el sistema muestre un cuadro de mensaje a la hora especificada y genere un aviso de sonido. Puede configurar el mensaje recordatorio y el contenido del recordatorio, la hora (una hora específica del día o una hora determinada en una fecha específica), el contenido y el aviso de sonido.

7.2. Requisitos funcionales del subsistema de enclavamiento

El equipo de enclavamiento tiene la finalidad de garantizar la seguridad a lo largo de la línea. Para este fin se debe utilizar un sistema informático redundante, y el diseño de software y hardware del sistema de enclavamiento debe cumplir con el principio de seguridad.

El equipo de enclavamiento controla los interruptores y señales instalados en la vía de acuerdo con ciertos procedimientos y condiciones, establece una aproximación para la operación del tren y garantiza el enclavamiento seguro entre las secciones de vía, interruptores, señales, etc. en la aproximación. Se deben adoptar medidas de garantía de



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

seguridad para operaciones que involucren seguridad. Se debe proporcionar una protección eficaz contra el uso incorrecto del equipo operativo.

El operador del tren conduce de acuerdo con las órdenes de despacho y las señales mostradas en tierra, y el equipo de enclavamiento garantiza la seguridad a lo largo de su trayecto. El equipo de enclavamiento debe poder conectarse con máquinas de desvíos, máquinas de señalización, etc. a través de una interfaz cableada de enclavamiento totalmente electrónica, y con equipos contadores de ejes a través de una interfaz digital de red, a fin de lograr un control seguro y confiable de desvíos, máquinas de señalización, equipos contadores de ejes, etc.

El diseño del circuito de control de los equipos de vía debe cumplir con el principio de seguridad. La conexión del circuito no debe afectar la seguridad del sistema debido a cortocircuitos en la línea, fallos de alimentación o puesta a tierra del circuito externo.

Las principales funciones de los dispositivos de enclavamiento incluyen, entre otras, las siguientes:

- Control de línea normal (incluida la vía de incorporación).
- Monitoreo de máquinas de señales.
- Monitoreo de aparatos de vía.
- Monitoreo de secciones de vía.

El enclavamiento proporciona al ATS información sobre la posición de los trenes y el estado del equipo de señalización, al tiempo que recibe las órdenes de control del ATS.

El enclavamiento y el ATS trabajan juntos para implementar un sistema de control a dos niveles: en las estaciones y en el centro de control. En condiciones normales, el enclavamiento de las estaciones en la vía principal es gestionado por el ATS, que configura automáticamente la condición de avance de los trenes en función de su ubicación. Si el ATS sufre una falla, el operador de la estación puede gestionar manualmente esta condición.

El enclavamiento de la vía principal debe contar con la capacidad de activación automática de señalización, basada en la detección de la ocupación de los circuitos de vía. Esto permite determinar la posición del tren y activar automáticamente las señales cuando el tren se aproxima a una señal. Una vez que el tren ha completado su recorrido por un circuito de vía establecida, el sistema desbloquea el circuito de vía automáticamente.

Antes de abrir una señal, el sistema debe verificar que: las agujas estén correctamente alineadas y enclavadas. Los circuitos de vía dentro de la ruta estén libres y bloqueados. Las secciones de interferencia estén desocupadas. No haya conflictos con circuitos opuestos. No se haya aplicado una retención manual del tren en la salida. El semáforo de luz roja de la señal esté en buen estado. Otras condiciones específicas se definirán en la fase de diseño.

El enclavamiento de la vía principal debe contar con una función de verificación de conflictos para evitar rutas enfrentadas en la misma vía o dentro del área de agujas.

El equipo de enclavamiento puede lograr un prebloqueo y un bloqueo de aproximación del



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

circuito de vía, y el circuito de vía bloqueado se desbloqueará automáticamente en secciones a medida que el tren avanza. El bloqueo de aproximación se forma cuando hay un Tren ocupando la sección de aproximación después de que se libera la señal. Cuando no hay sección de aproximación, el bloqueo de aproximación se forma inmediatamente después de que se libera la señal.

El equipo de enclavamiento debe tener la función de desbloqueo normal de desbloqueo segmentado o desbloqueo instantáneo a medida que el tren se mueve.

El dispositivo de enclavamiento debe proporcionar la función de cancelar la aproximación. En las rutas de trenes con señales abiertas, la señal de inicio de ruta deberá cerrarse inmediatamente después de completarse la operación de cancelación de ruta. Una vez apagada la señal, las rutas que no se acercan a las esclusas se desbloquean inmediatamente.

El tiempo de desbloqueo retardado de la ruta de aproximación se calcula a partir del momento en que se cierra la señal, y se debe mostrar una cuenta regresiva de desbloqueo retardado en la estación de trabajo de control local de la estación y en la estación de trabajo de despacho central.

Cuando se enciendan y apaguen las luces combinadas de los semáforos exteriores, no se deberá producir una visualización de señales caótica (es decir, una visualización de señales que no cumpla con las normas). Cuando las luces combinadas se encienden y se apagan, las luces deben encenderse o apagarse al mismo tiempo.

El equipo de enclavamiento debe tener la función de supervisión del filamento de la luz de señal. Al abrir una señal, se debe verificar la integridad del filamento de luz roja (cuando la señal exterior está encendida). Después de abrir la señal, se debe revisar continuamente el filamento para asegurarse de que esté en buenas condiciones.

Una vez que se cierra una señal (excepto por detención de vehículos), no se puede volver a abrir sin un procesamiento adicional.

El equipo de enclavamiento debe tener la función de bloqueo/desbloqueo de señales. En caso de una señal bloqueada no se podrá organizar ninguna sección a partir de esta señal. Una vez bloqueada la señal, las señales abiertas se cerrarán inmediatamente y las secciones se podrán desbloquear, cancelar y desbloquear manualmente debido a fallas en la sección. La máquina de señal que se cierra después de que se implementa la operación de bloqueo no se puede volver a abrir automáticamente después de que se desbloquea el bloqueo y se requiere una operación manual para abrir la señal.

El enclavamiento también gestiona el monitoreo de la ocupación de los circuitos de vía y permite el desbloqueo forzado en caso de falla. Si una sección de vía no se desbloquea correctamente por un error, el sistema debe permitir su desbloqueo manual tras verificar que está libre.

Las agujas pueden ser operadas manualmente o configuradas automáticamente según la ruta establecida.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

Cuando se manejan mediante control de ruta, las agujas se seleccionan en orden y su corriente de activación debe evitar picos simultáneos.

Una aguja bloqueada no puede moverse hasta que se desbloquee manualmente o mediante la liberación de la sección de vía.

El enclavamiento debe tener la función de bloquear/desbloquear individualmente el desvío. Una vez bloqueado el desvío, se pueden organizar corridas que pasen por la misma posición del desvío. El desvío bajo bloqueo de ruta se puede bloquear individualmente y el desbloqueo de ruta no debe afectar el bloqueo individual del desvío. Una vez bloqueado el desvío, se puede desbloquear mediante la operación de liberación única del desvío. Si el desvío está bloqueado por la ruta al mismo tiempo, la liberación única del desvío no debería afectar el bloqueo del desvío por la ruta.

Las agujas deben alcanzar su posición correcta tras la activación. Si no lo logran en un tiempo determinado (por ejemplo, 15 segundos), el sistema debe cortar automáticamente la alimentación de la aguja y activar una alarma.

Una vez completado el movimiento, el sistema debe cortar la alimentación del motor de la aguja.

Si hay una falla en el circuito del motor de la aguja, el sistema debe cortar la alimentación de activación para evitar su funcionamiento defectuoso.

Los desvíos deberán estar provistos de indicaciones de posición y garantizar que:

- La indicación de desvío debe ser coherente con la posición real del desvío, y se deben verificar que las dos filas de grupos de contactos del interruptor automático y otros dispositivos indicadores estén en la posición especificada.
- La representación de la posición solo se puede formar cuando todos los puntos del desvío de tracción multipunto se encuentran en la posición especificada.
- Cuando el desvío esté en posición de ajuste no ceñido, está estrictamente prohibido tener indicación de posicionamiento o posición inversa.
- Al iniciar el desvío, primero se debe cortar la indicación de posición.
- Cuando se aprieta un desvío, debe aparecer una indicación de compresión.
- Cuando el interruptor está bloqueado individualmente o bloqueado, la indicación de posición del interruptor no se ve afectada.

Cuando el equipo de enclavamiento recibe una orden de retención de tren enviada por el subsistema ATS, el sistema de enclavamiento cierra inmediatamente la señal de salida correspondiente (o la señal de salida con función de protección), mostrándola en rojo. Una vez que se libera la retención del tren y se cumplen las demás condiciones del enclavamiento, la señal de salida correspondiente se abre automáticamente. Tras aplicar la retención manual del tren, las rutas establecidas con esa señal como punto de partida pueden configurarse y bloquearse, pero la señal no podrá abrirse.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

Si antes de reiniciar el sistema de enclavamiento se habían configurado órdenes de bloqueo de secciones de vía, el sistema debe aplicar la restricción más estricta tras el reinicio. Para levantar estas restricciones, debe realizarse una verificación manual y reconfigurar las órdenes correspondientes. La estación de trabajo debe mostrar la información relacionada con estas restricciones.

El equipo de enclavamiento debe contar con funciones de autocomprobación, autodiagnóstico y monitoreo de los equipos de señalización, como señales y máquinas de cambio de agujas. Cualquier anomalía debe generarse como una alarma y mostrarse en la estación de mantenimiento.

El sistema de enclavamiento debe poder supervisar y registrar su propio estado de funcionamiento, así como el estado de los equipos de vía. Entre los principales aspectos a monitorear se incluyen:

- Estado de la línea.
- Estado de ocupación/desocupación de zonas (secciones de vía).
- Visualización de señal.
- Estado de semáforos.
- Posición del desvío.

En la estación de control local, se pueden asignar responsabilidades y autoridades a diferentes operadores para garantizar el correcto control del equipo. Para los comandos de control que requieren seguridad manual, deben existir métodos de operación seguros correspondientes.

7.3. Requisitos funcionales del subsistema DCS

El subsistema de comunicación de datos DCS debe realizar la función de transmisión de intercambio de información y lograr una transmisión de canal transparente.

Para garantizar el funcionamiento del tren, se debe garantizar la continuidad de la transmisión de información bidireccional entre el tren y tierra, y la transmisión de información debe ser ininterrumpida.

La conmutación de red redundante debe estar libre de perturbaciones y no debe interferir con el funcionamiento normal del sistema de señales ni causar interrupciones de comunicación o pérdida de información.

7.3.1. Requisitos de control de acceso

La intranet y la extranet del sistema de señales deben ser independientes entre sí y deben existir requisitos de control de acceso entre cada segmento de la intranet.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

7.3.2. Requisitos de independencia relativa y transparencia para la transmisión de información

En el control del sistema de señales, el subsistema DCS solo sirve como canal de transmisión para el sistema de control y necesita mantener una relativa independencia y transparencia en la física y los protocolos de comunicación.

7.3.3. Requisitos de confiabilidad

Para reducir la tasa de fallas del software y hardware, mejorar la confiabilidad del sistema y lograr un período de mantenimiento sin problemas, y mejorar la seguridad del uso y la administración del software y hardware del sistema, este sistema debe estar diseñado para ser confiable. El diseño de confiabilidad debe basarse en la mantenibilidad y la seguridad, determinar la mejor relación precio-rendimiento y la solución de confiabilidad, y realizar la gestión de la confiabilidad durante el ciclo de vida del sistema. El sistema debe soportar 7x24 Horas de trabajo continuo.

El equipo de transmisión de datos del subsistema DCS proporcionado por el "**Licitante**" debe considerar plenamente las condiciones de implementación del proyecto de conexión en red entre el centro de control y las estaciones terminales y cumplir con los requisitos de uso de la transmisión de datos determinado para el "**Sistema FRCT**".

7.3.4. Requisitos de seguridad:

El subsistema DCS requiere contar con una serie de elementos y características de seguridad que deberán considerar por lo menos:

- Seguridad física: Determinar las reglas y medidas para la prevención del robo, el acceso físico y la protección de diversos equipos, incluyendo evitar daños a los pasajeros y a los equipos.
- Control de acceso: especifica las normas de acceso y los requisitos de política entre la intranet y la extranet (red ferroviaria urbana, red social, etc.) y entre los segmentos de la intranet.
- Pruebas de seguridad.
- Auditoría y seguimiento.
- Antivirus en red.
- Protección del entorno de red:
- Mecanismos de protección para terminales de usuarios, servidores y sistemas de aplicación para evitar la denegación de servicio, la divulgación no autorizada de datos y la modificación de datos.
- Protección al sistema operativo.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

- Protección de bases de datos.
- Autenticación de identidad.
- Sistema de detección de intrusiones.
- Sistema de prevención de virus.
- Capacidad para evitar que personal interno y externo realice operaciones ilegales, ataques y sabotajes.
- Protección de la infraestructura de redes y comunicaciones:
- Garantizar las misiones críticas respaldadas por la infraestructura y prevenir ataques de denegación de servicio.
- Evitar que la información protegida se retrase, se entregue incorrectamente o no se entregue durante el proceso de transmisión.
- Proteger diversos flujos de datos de usuario.
- Proteger la información de control de la infraestructura de red, etc.

El subsistema DCS debe formular medidas de seguridad correspondientes en monitoreo de seguridad, auditoría y supervisión, antivirus de red, respaldo y recuperación ante desastres, etc. Al mismo tiempo, el sistema debe tener capacidades suficientes para evitar que personal interno y externo realice operaciones ilegales y ataques y destrucción.

La red cableada DCS debe evitar tormentas de transmisión.

Se debe garantizar la seguridad de los datos del subsistema de red, y la red debe proporcionar mecanismos de seguridad de control de acceso en múltiples modos y niveles. Se pueden utilizar los siguientes mecanismos:

- El CLI puede realizar la autenticación y autorización de usuarios a través de Radius.
- Protocolo SSH para proteger las sesiones de administración remota.
- Filtro y limitación de potenciales paquetes DDOS

Los equipos DCS deben gestionarse mediante el protocolo estándar SNMP. NMS admite todas las funciones de gestión de la capa del dispositivo de red (conmutador Ethernet), etc.: gestión de fallos, gestión del rendimiento, gestión de la configuración, gestión de la seguridad, gestión de la comunicación, gestión de la topología y gestión del sistema. Además, se deben respaldar las siguientes funciones de gestión: gestión de rutas de extremo a extremo para garantizar un despacho rápido del servicio. mantenimiento de servicios de extremo a extremo. y gestión unificada de recursos de red mediante la protección de subredes.

Requisitos de seguridad:

- El canal de transmisión debe utilizar un canal de comunicación físico redundante



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

en línea independiente.

- Requisitos de control de acceso: Los canales A/B del sistema deben ser independientes entre sí.
- Se deben formular medidas de seguridad adecuadas para garantizar capacidades suficientes para evitar que el personal interno y externo realice operaciones ilegales, ataques y sabotajes.

7.3.5. Requisitos para las luces de señalización

El "**Sistema FRCT**" deberá contar con los dispositivos de señalización ferroviaria a base LED, con estructuras de aleación de aluminio modular.

El diseño de los mecanismos debe permitir su apertura y cierre de una manera flexible y fácil.

Las piezas de los dispositivos de señalización deben ser intercambiables y los pernos, tornillos y sujetadores deben cumplir con las normas correspondientes.

El grado de protección de la carcasa del mecanismo deberá cumplir con la normativa IP65.

Visualización de distancia.

- La distancia entre la señal de conducción y la señal de protección del interruptor no debe ser inferior a 400 m.
- Las señales de derivación y los indicadores de estado del interruptor no deben tener una distancia inferior a 200 m.
- Todos los indicadores y señales de guía distintos del estado del desvío no deberán estar a menos de 100 m.

Los dispositivos deben contar con resistencia a la interferencia de luz intensa, evitando que la exposición a fuentes de luz externas provoque una visualización errónea de las señales. Debe poseer protección contra rayos UV, siendo capaz de soportar impactos con una onda de 4/300 μ s y una amplitud de 10 kV sin sufrir daños.

Debe contar con resistencia a interferencias electromagnéticas, cumpliendo con los requisitos de nivel 3 de las pruebas de compatibilidad electromagnética para equipos eléctricos de señalización ferroviaria, y con la clasificación de desempeño categoría A como criterio de evaluación.

Si el número de LEDs dañados alcanza el 30%, esto no debe afectar la distancia de visibilidad reglamentaria de la señal y debe generarse una alarma inmediata. La alarma debe identificar la ubicación del fallo para facilitar su detección y reparación. La señal luminosa debe contar con una función de supervisión del estado de los filamentos, y su circuito de control debe verificar la integridad de los mismos.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

Además, debe cumplir con el principio de "Fail-Safe", asegurando que cualquier fallo en el sistema de iluminación no provoque cambios incorrectos en la señal mostrada.

7.3.5.1. Parámetros técnicos principales:

- Ancho de la unidad: ≤ 170 mm.
- Voltaje de funcionamiento: 110 VCA, el rango de fluctuación de la fuente de alimentación es $\pm 5\%$.
- Vida útil de LED: > 100.000 horas.
- Temperatura ambiente: $-40^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$.
- Humedad relativa del aire: no más del 95% ($+25^{\circ}\text{C}$).
- Frecuencia de vibración 10-2000Hz, amplitud de aceleración 10m/s^2 .
- No existe peligro de explosión ni de gas corrosivo en los alrededores.
- Resistencia de aislamiento: > 50 millones Ohm.
- Las máquinas de señalización proporcionadas por licitante deben cumplir los requisitos de interfaz con el sistema de señalización.

7.3.6. Requisitos para máquinas de cambio de vía (Desvíos)

El "Sistema FRCT" requiere la provisión de una máquina para la automatización de un equipo de cambio de vía para la estación terminal Tasqueña, utilizando un modo de tracción de máquina única.

- Todas las partes deben ser inspeccionadas y calificadas, y las partes estándar y las partes compradas deben cumplir con sus respectivos requisitos técnicos.
- Debe cumplir con el nivel de protección IP54, y se debe instalar un mecanismo para drenar el aceite y las aguas residuales en la caja de la máquina.
- Para facilitar el mantenimiento y el reemplazo, se debe proporcionar un bloque de terminales enchufable dentro de las máquinas de cambio de vía, y las partes que necesitan mantenimiento deben ser fáciles de observar y desmontar.
- La selección de las máquinas de cambio de vía debe cumplir y satisfacer los requisitos de gálibo y límite máximo de línea, condiciones de vía y balasto de este proyecto y ser conveniente para el mantenimiento.
- La vida útil debe exceder un millón de veces de operación.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

7.3.7. Requisitos de contadores de ejes

El **"Sistema FRCT"** deberá contar con equipos contadores de ejes para detectar la ocupación del tren. El equipo debe ser maduro y fiable, y funcionar de forma segura y estable. Debe establecer una interfaz de datos o de relé directamente con el equipo de enclavamiento.

Los equipos contadores de ejes deben cumplir con las normas y regulaciones técnicas internacionales pertinentes.

El equipo contador de ejes debe poder cumplir con el entorno electromagnético de la Línea de Tren Ligero y debe tener capacidades anti interferentes correspondientes para garantizar la estabilidad, confiabilidad y disponibilidad de todo el sistema de señalización.

El sistema de procesamiento de conteo de ejes adopta un control independiente, y el sistema de suministro de energía de conteo de ejes adopta un suministro de energía independiente para evitar un impacto importante en las operaciones causado por una falla en el conteo de ejes en un punto determinado.

Si el equipo contador de ejes falla o se produce un error en la transmisión de los datos, deben existir medidas de recuperación de fallos seguras y viables, o el sistema debe restaurarse mediante operaciones seguras. Las fallas del equipo contador de ejes que el sistema pueda detectar no deben afectar el normal funcionamiento del transporte ferroviario. El método de reinicio por fallas del sistema de conteo de ejes debe incluir un método de pre-reinicio y un método de reinicio directo. El método de reinicio directo no debe tener restricciones y permite reiniciar el equipo contador de ejes sin restricciones.

Para garantizar la seguridad durante la conducción, podría requerirse una garantía manual.

"El Licitante" debe señalar en su propuesta técnica un proceso y principio de operación de reinicio detallado, y el método de reinicio específico se determinará durante la etapa de revisión de diseño.

La configuración del equipo contador de ejes deberá cumplir, entre otros, los siguientes requisitos:

- Detección confiable a la velocidad operativa más alta de los trenes.
- Cumplir con los requisitos del intervalo de operación.
- Para garantizar la seguridad de la operación del tren, se debe considerar la sección de protección de la ruta de enclavamiento y la ruta de operación paralela.
- El equipo contador de ejes se encuentra en condiciones de funcionamiento en horarios normales y no afecta la seguridad y eficiencia del sistema de señalización.
- Las fallas del equipo contador de ejes que puedan ser determinadas por el sistema no deberán afectar el funcionamiento normal ni el desempeño del sistema de señalización.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

- El principio de diseño del equipo contador de ejes al aire libre en la línea principal es el siguiente: el equipo contador de ejes se instalará en la sección de desvío y en la salida, y el equipo contador de ejes se instalará para realizar la función de sección de protección independiente, etc.
- Al diseñar e instalar las líneas de conexión entre diferentes líneas operativas, se debe evitar que el cabezal magnético del contador de ejes se encuentre dentro del rango de conmutación de las puertas divisorias o puertas de defensa aérea civil para evitar afectar el trabajo del contador de ejes y el trabajo de mantenimiento relacionado.
- Los sistemas que utilizan equipos contadores de ejes deben estar equipados con una función de "reinicio de sección de vía" en la sala de equipos de señalización.
- El equipo contador de ejes debe admitir la función de ocupación simulada de segmento único.
- El diagrama de disposición del plano de señales, adjunto al documento de requisitos del usuario, constituye el requisito básico para la disposición del equipo contador de ejes. El plan de configuración del equipo contador de ejes se define durante la fase de coordinación del diseño.

Los contadores de ejes instalados en los rieles deben cumplir con los requisitos de gálibo y límites máximos de vías.

El equipo contador de ejes seleccionado debe tener un buen historial operativo en las principales líneas de tránsito ferroviario urbano.

7.3.8. Requisitos del equipo de suministro de energía

Para garantizar el funcionamiento estable, confiable y continuo de los equipos que componen el sistema de señalización, se deberá prever la instalación de los equipos de suministro de energía eléctrica del sistema de señalización, dentro de gabinetes específicos para los equipos de señalización.

7.3.9. Requisitos de los equipos del monitor de alimentación eléctrica

El "PRTL" y las estaciones de equipos centralizados deben estar equipados con un panel de alimentación inteligente.

Este panel debe proporcionar energía no solo a los sistemas ATS, DCS y enclavamiento, sino también a los siguientes equipos: máquinas de señal, máquinas de cambio de aguja, equipos de detección de ocupación de vía, equipos de red, interfaces con otros sistemas y circuitos de interconexión con estaciones.

Además de la carga normal (para garantizar el funcionamiento del sistema de señalización), el sistema de alimentación debe contar con una capacidad de reserva del

Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

30% y dejar espacio para al menos dos módulos adicionales para futuras modificaciones o expansiones.

"El Licitante" debe garantizar que los equipos de alimentación funcionen de manera estable y confiable bajo las condiciones normales de suministro eléctrico.

7.3.10.Requisitos de UPS y baterías

Se deben instalar sistemas UPS en línea con baterías en el **"PRTL"** y estaciones de equipos centralizados, con una arquitectura de UPS única.

"El Licitante" debe dimensionar la capacidad del UPS y la batería de respaldo teniendo en cuenta el consumo de todos los equipos de señalización interiores y exteriores (excepto los motores de agujas). El tiempo mínimo de respaldo de la alimentación del UPS debe ser de al menos 30 minutos.

La entrada de alimentación debe operar a 60 Hz y suministrar 110 V o 220 V AC $\pm 10\%$, con una frecuencia de 60 Hz ± 1 Hz, a través de un panel de control.

Los requisitos de suministro de energía de UPS son los siguientes:

- Diseñada para funcionamiento en líneas ferroviarias metropolitanas.
- Debe cumplir con las normas internacionales de seguridad, compatibilidad electromagnética y protección mecánica, incluyendo: EN50091, IEC62040, IEC60950, IEC60439, IEC61000 e IEC521.
- Debe utilizar tecnología de conmutación de alta frecuencia.
- Las baterías del UPS deben contar con características de alta confiabilidad, libre de mantenimiento, larga vida útil, baja auto descarga, capacidad de soportar ciclos profundos de descarga..

"El Licitante" debe determinar la capacidad del UPS para cada punto de consumo de energía de los equipos de señalización, utilizando el método de cálculo de potencia constante para dimensionar la batería en función del tiempo de respaldo requerido.

7.4. Sistema de señalización para Cruceos a nivel

La línea de Tren Ligero cuenta con 9 cruceos viales a nivel. En estas intersecciones el paso de los trenes presenta altos riesgos derivados de la interacción constante con el paso de peatones y el tráfico vehicular. Los cruceos se encuentran en las siguientes ubicaciones:

Tabla 1. Listado de cruceos.

No.	Descripción	Vía
1	Tlalpan y Tlalmanalco	Tramo 1
2	Tlalpan y Huipilco	



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

3	Acueducto y San Juan de Dios	Tramo 2
4	México-Xochimilco y Forestal	
5	16 de Septiembre y Paseo de La Virgen	
6	Ramírez Guadalupe y Ejido	
7	Ramírez Guadalupe y 20 de Noviembre	
8	México y 20 de Noviembre	
9	Prolongación División del Norte y 20 de Noviembre	

"El Licitante" deberá considerar en su propuesta técnica la integración de un sistema de señalización y contención de paso (barreras automáticas) para los 9 crueros a nivel descritos, el cual deberá contar con las siguientes características mínimas:

- Detectar la aproximación de trenes en zonas de intersección de vías.
- Supervisar la ocupación del paso a nivel, verificando la presencia de obstáculos en la vía.
- Controlar la subida y bajada de las barreras de protección.
- Emitir señales luminosas y sonoras para alertar sobre la llegada del tren.
- Monitorear el estado operativo del sistema.
- Activar y desactivar el sistema en sincronización con el primer y último tren del día. El inicio del servicio debe coincidir con la circulación del primer tren en cada cruce, y el sistema debe desactivarse cuando ya no haya trenes en circulación.

7.4.1. Requisitos de nivel de seguridad

El nivel de seguridad para los sistemas de señalización en crueros viales debe cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

Subsistema	Nivel SIL
Subsistema de enclavamiento de computadoras (CI)	Nivel 4
Equipo contador de ejes	Nivel 4
Subsistema de Monitoreo Automático de Trenes (ATS)	Nivel 2

8. Sistema de Comunicaciones

El Sistema de Comunicaciones del **"Sistema FRCT"** debe ser un sistema de comunicación completo que satisfaga las necesidades de las operaciones de tránsito ferroviario urbano. Deberá estar compuesta por una red de comunicación digital integrada, con redundancia, capaz

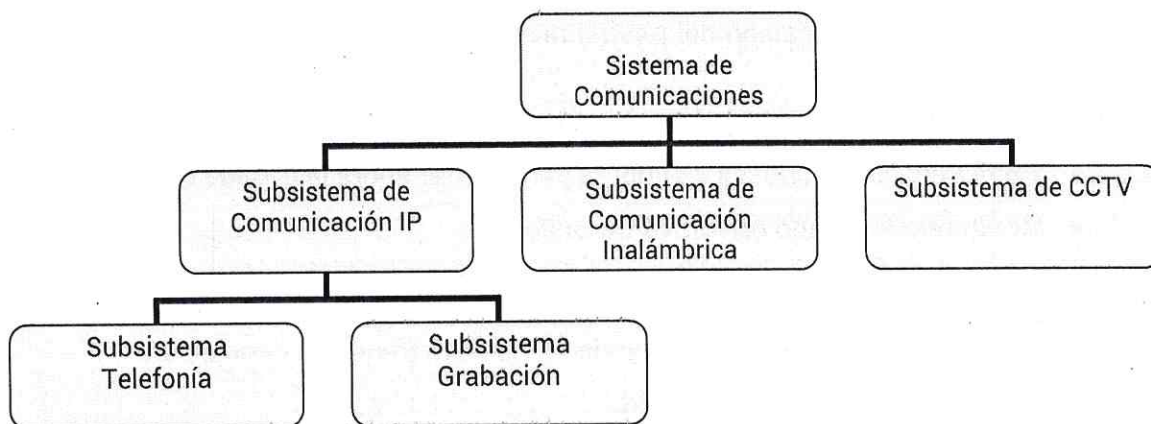
Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

de transmitir de forma rápida, precisa y confiable información de voz y datos para realizar la gestión de las operaciones.

El Sistema de Comunicaciones constituye el medio para garantizar el enlace de los diferentes subsistemas que lo componen, a través del uso de canales autogestionados para el intercambio de información de manera confiable, redundante, reconfigurable y flexible.

El Sistema de Comunicaciones proporciona canales para la transmisión de información de voz y datos según corresponda entre los diferentes subsistemas que componen los **Sistemas de Señalización y Comunicaciones** del "**Sistema FRCT**", y se utiliza para conexiones de comunicación entre el "**PRTL**" y los equipos instalados a lo largo de la vía y material rodante, de acuerdo a lo siguiente:

Ilustración 3. Sistema de Comunicaciones - Descripción general



8.1. Subsistema de Comunicación IP

Este subsistema estará diseñado para proporcionar una plataforma de comunicación para los distintos sistemas y subsistemas que conforman el "**Sistema FRCT**", que utilizan tecnología IP, asegurando un canal confiable, redundante, configurable y flexible para la transmisión e intercambio de información.

Este subsistema se constituye a partir de una red de transmisión de fibra óptica multiservicio capaz de transportar voz y datos.

Deberá estar integrado con la cantidad de nodos suficiente y adecuada para comunicar el "**PRTL**", las 2 estaciones terminales, 16 estaciones y los depósitos de mantenimiento (Huipulco y Xochimilco).

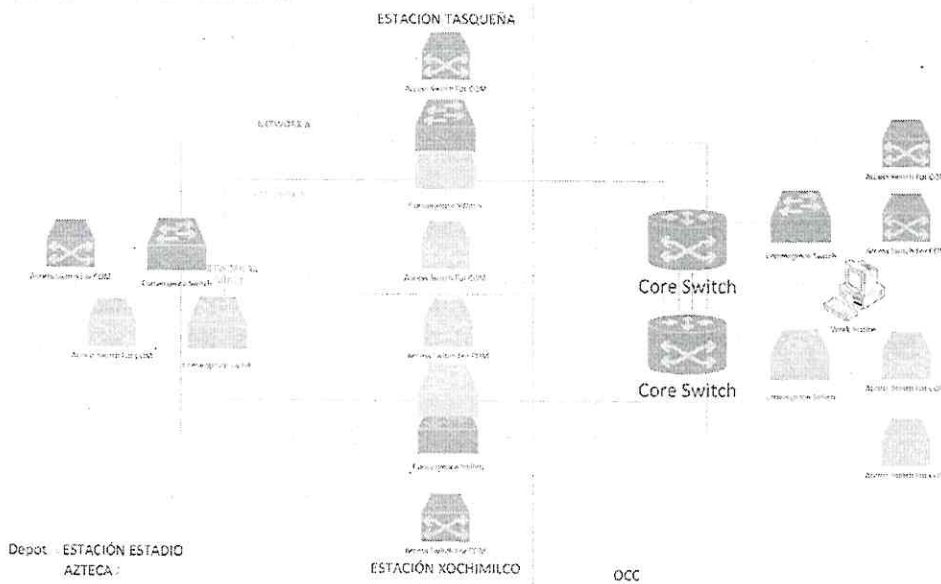
De acuerdo con la naturaleza del uso y los requisitos del Sistema de Comunicaciones, se instalarán los equipos de comunicación en cada nodo. Estos equipos utilizarán una red de fibra óptica de entrada y salida para conformar un Subsistema de Comunicación IP completo.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

Este Subsistema debe adoptar una arquitectura de red dual "A" y "B" para garantizar la confiabilidad y redundancia de las comunicaciones IP. El diagrama esquemático de la estructura del sistema se muestra a continuación:

Ilustración 4. Estructura Subsistema de Comunicación IP



8.1.1. Equipos de comunicación IP en el "PRTL"

El "PRTL" deberá estar conformado como mínimo de los siguientes equipos:

Una estación de trabajo para administración de la red IP dual, así como para realizar el monitoreo del estado operativo y funcional de los equipos instalados a esta red de comunicaciones

Estará equipada con 2 conjuntos de Switches centrales del "PRTL", que sirven como nodos centrales de la red IP dual, definidos como red A y red B respectivamente, y como salidas de la red.

Contará con 2 conjuntos de switches de agregación para el "PRTL", que sirven como nodos de agregación para la red A y la red B respectivamente, para agregar datos de otros nodos de acceso y de este nodo al nodo central.

El "Licitante" deberá configurar el switch de acceso central como nodo de acceso de la red A y la red B, y transmitir los datos de este nodo al nodo de agregación.

Proporcionará 2 juegos de equipos de firewall para hacer frente a posibles ataques cibernéticos a la red o protección antivirus.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

8.1.2. Equipos de comunicación IP en Estaciones Terminales (Tasqueña / Xochimilco)

Cada Estación Terminal deberá estar equipado con al menos:

2 conjuntos de switches de agregación por Terminal, que funcionan como nodos de agregación de la Red A y la Red B, encargados de recolectar los datos de otros nodos de acceso y de su propio nodo para enviarlos al nodo central.

El "Licitante" deberá configurar los switches de acceso de cada terminal de acuerdo con los requerimientos operativos, los cuales funcionarán como nodos de acceso de la Red A y la Red B, permitiendo el envío de datos desde su nodo hacia los nodos de agregación.

8.1.3. Equipos de comunicación IP en Estaciones Intermedias (16 Estaciones)

El "Licitante" deberá configurar los switches de acceso de las 16 estaciones de acuerdo con los requerimientos operativos, los cuales funcionarán como nodos de acceso de la Red A y la Red B, permitiendo el envío de datos desde su nodo hacia los nodos de agregación.

8.1.4. Equipos de comunicación IP en depósito (Estadio Azteca)

El depósito deberá incluir principalmente:

2 conjuntos de switches de agregación, que funcionan como nodos de agregación de la Red A y la Red B, encargados de recolectar los datos de otros nodos de acceso y de su propio nodo para enviarlos al nodo central.

El "Licitante" deberá configurar los switches de acceso del depósito según los requerimientos operativos, los cuales funcionarán como nodos de acceso de la Red A y la Red B, permitiendo el envío de datos desde su nodo hacia los nodos de agregación.

8.1.5. Características del Subsistema de Comunicación IP

Este subsistema sirve como base para la interconexión y transmisión de voz y/o datos de los distintos sistemas y subsistemas de tecnología IP que integran "El sistema FRCT".

La red de transmisión constituirá una plataforma de red compartida basada en la transmisión transparente de voz y datos. Proporciona diversos modos de transmisión de voz y datos, además de ofrecer un canal de transmisión redundante, seguro y estable.

8.1.6. Principales funciones del Sistema de Comunicación IP.

- **Función de enrutamiento y reenvío de datos**

La información se puede transmitir desde una dirección de origen a una dirección de destino a través de una red interconectada.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

- **Función de red privada virtual (VPN)**

Una Red Privada Virtual (VPN) es una red de comunicación privada virtual establecida en una red pública por un Proveedor de Servicios de Internet (ISP) y un Proveedor de Servicios de Red (NSP). Deberá cumplir con los requisitos de flexibilidad, seguridad, rentabilidad y escalabilidad de la red.

- **Función de red de área local (VLAN)**

Una tecnología de comunicación que divide lógicamente una LAN física en múltiples dominios de transmisión.

- **Función de control jerárquico de QoS**

QoS (Calidad de Servicio) es la calidad del servicio. Su propósito es proporcionar una garantía de calidad integral para diversos servicios con diferentes requisitos. La calidad de servicio (QoS) es una herramienta para utilizar eficazmente los recursos de red. Permite que diferentes flujos de tráfico compitan de forma desigual por los recursos de red. Las aplicaciones de voz y datos importantes pueden recibir servicios prioritarios en los dispositivos de red.

- **Función de transmisión y difusión multidifusión**

El equipo de red del sistema de transmisión admite múltiples modos de transmisión, incluidas funciones de unidifusión, difusión y multidifusión.

- **Función de alta disponibilidad en caso de fallas**

Deberá tener una arquitectura de anillo redundante compuesta por un anillo principal y un anillo de respaldo con función de conmutación automática en caso de fallas. La conmutación entre el anillo principal y el anillo de respaldo de la red, no debe afectar el uso normal de los usuarios que están trabajando. Una vez completada la acción de conmutación, el evento de conmutación de protección debe informarse al sistema de gestión de red.

- **Función de expansión del sistema**

Los equipos utilizados deben ser tecnológicamente avanzados, compatibles y escalables, y capaces de expandir sin problemas la capacidad del sistema y la capacidad de transporte horizontal y verticalmente, y garantizar la expansión continua del "Sistema FRCT" en el futuro.

- **Función de gestión de red**

Deberá cumplir los siguientes requisitos:

Tiene las funciones de detección, identificación y ubicación de fallas del equipo: admite configuraciones de filtrado y clasificación de niveles de falla, con la capacidad de generar reportes de forma programada o bajo demanda.

Monitoreo en tiempo real del estado del flujo de servicio de la interfaz Ethernet, el estado de operación del equipo y el desempeño de las conexiones.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

Configuración de red mediante una interfaz gráfica.

Admite la consulta del estado de funcionamiento del dispositivo mediante una interfaz gráfica.

Genera respaldos periódicos de todo el software y los datos del sistema, permitiendo restaurar rápidamente el sistema en caso de falla y tiene registros de operaciones de administración de red.

Admite la gestión de permisos para que usuarios no autorizados accedan a la red, usuarios autorizados limitados para realizar solo operaciones correspondientes de gestión de red y usuarios totalmente autorizados para tener todas las operaciones de gestión de red, y tiene la capacidad de monitorear y registrar aplicaciones para acceder a recursos restringidos.

- **Función de diagnóstico automático**

Las funciones de gestión del Subsistema de Comunicación IP incluyen gestión de configuración, fallas, rendimiento, mantenimiento, seguridad, sistema. Utiliza una interfaz de gestión de mantenimiento gráfica alarmas ópticas y audibles.

8.1.7. Especificaciones técnicas mínimas de los equipos principales

8.1.7.1. Switch central

El switch central deberá cumplir con las siguientes características mínimas:

- Capacidad de conmutación: ≥ 14.4 Tbps. Tasa de reenvío: ≥ 2400 Mpps.
- Admite al menos 4 tarjetas, que pueden proporcionar un mínimo de 6 puertos ópticos Ethernet 10GE y 8 puertos ópticos Ethernet 40/100GE.
- El número de puertos deberá estar determinado de acuerdo con los requerimientos funcionales y deberá contar con un margen de reserva del 50 % de los puertos utilizados.
- Fuente de alimentación: intercambiable en caliente y configuración redundante 1+1.
- Admite hasta 9 switches apilables.
- Con protocolo 1588v2 para sincronización del reloj.

8.1.7.2. Switch de agregación

El switch de agregación deberá cumplir con las siguientes características mínimas:

- Capacidad de conmutación: ≥ 2.16 Tbps. Tasa de reenvío: ≥ 490 Mpps.
- Un mínimo de 48 puertos ópticos Ethernet 10GE y 6 puertos ópticos Ethernet 40/100GE.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

- El número de puertos deberá estar determinado de acuerdo con los requerimientos funcionales y deberá contar con un margen de reserva del 50 % de los puertos utilizados.
- Fuente de alimentación: intercambiable en caliente y configuración redundante 1+1.
- Admite hasta 9 switches apilables.
- Con protocolo 1588v2 para sincronización del reloj.

8.1.7.3. Switch de acceso

El switch de acceso deberá cumplir con las siguientes características mínimas:

- Capacidad de conmutación: ≥ 224 Gbps. Tasa de reenvío: ≥ 168 Mpps.
- Un mínimo de 48 puertos eléctricos Ethernet 10/100/1000M (compatibles con POE+), 1 bahía de expansión, al menos 4 puertos ópticos Ethernet 10 GE y 2 puertos de apilamiento.
- El número de puertos deberá estar determinado de acuerdo con los requerimientos funcionales y deberá contar con un margen de reserva del 50 % de los puertos utilizados.
- Fuente de alimentación: intercambiable en caliente y configuración redundante 1+1.
- Admite hasta 9 switches apilables.
- Con protocolo 1588v2 para sincronización del reloj.

8.1.7.4. Firewall

El firewall deberá cumplir con las siguientes características mínimas:

- El dispositivo debe estar construido sobre una plataforma de seguridad con un NGFW estable, IPS de última generación, protección contra malware y protección de URL, que proporcione firewall, visibilidad de aplicaciones.
- No habrá interrupción de servicios ante la pérdida del firewall primario
- Para mejorar la confiabilidad del equipo, es necesario proporcionar un almacenamiento local de 1.5 TB y fuentes de alimentación de CA duales, que admitan intercambio en caliente.
- Puede proporcionar un rendimiento de hasta 35 Gbps, con control de aplicaciones, IPS y rendimiento de AV (tráfico mixto) de al menos 7 Gbps.

8.1.8. Interacción con otros Subsistemas

Interfaz entre el sistema de Comunicación IP y el cable óptico troncal

El Red de fibra óptica troncal proporcionará un medio para la transmisión de voz y datos para el Subsistema de Comunicación IP, garantizando la conexión de los switches de red del "PRTL", las terminales, estaciones y el depósito.

Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

8.1.9. Subsistema Telefonía

El **"Licitante"** deberá proveer una solución de telefonía para el **"Sistema FRCT"**, para garantizar la comunicación fija entre los diferentes usuarios de la línea, con la posibilidad de realizar la interconexión entre el Subsistema de telefonía y los operadores de redes telefónicas locales.

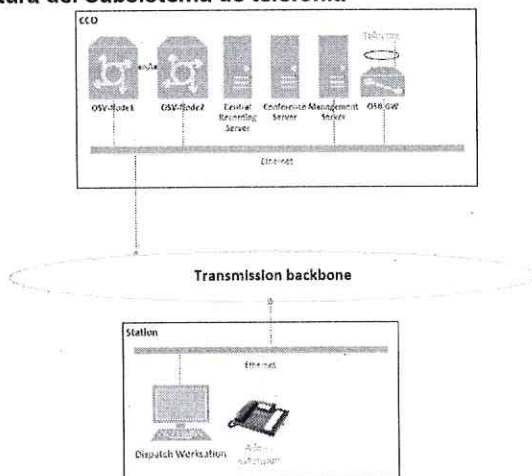
El **"Licitante"** deberá instalar un servidor telefónico soft switch en el **"PRTL"**. La solución telefónica proporcionada por el licitante será una solución de voz basada en IP.

8.1.9.1. Composición del Subsistema

El **"Licitante"** proporcionará una solución de software para el Subsistema de telefonía. Los nodos de comunicación incluyen las dos terminales, depósito y el **"PRTL"**, totalizando 4 nodos de comunicación.

Deberá contar con una estructura modular para la construcción de la red y contará con redundancia, permitiendo que los equipos de telefonía accedan automáticamente al servidor de respaldo en caso de caída del servidor principal o interrupción de la red.

Ilustración 5 Estructura del Subsistema de telefonía



- **Equipo de Telefonía en el PRTL**

El equipo del **"PRTL"** deberá incluir, entre otros: equipo de conmutación central, servidor de medios, administración de red, sistema de regulación, sistema de administración de red, sistema de llamadas de emergencia, consola de operación del centro de control, teléfono IP.

- **Equipo de Telefonía en Deposito Estadio Azteca**



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

El equipo de depósito proporcionado deberá incluir, entre otros: equipo de conmutación de software, estación de trabajo, teléfono IP, teléfono de emergencia, etc.

- **Equipo de Telefonía en Terminales**

El equipo en las terminales deberá incluir, entre otros: equipo de conmutación, estación de trabajo, teléfono IP, teléfono de emergencia.

- **Numeración**

El licitante cumplirá con los estándares de numeración unificados para toda la red del "**Sistema FRCT**", y elaborará una propuesta de implementación de la numeración y los requisitos relacionados para cada área, misma que será aprobada por el STE.

8.1.9.2. Funciones del Subsistema Telefonía

Las funciones clave del sistema telefónico incluyen, entre otras:

Selección de llamada individual o grupal entre el "**PRTL**", terminales y depósito Estadio Azteca con un solo clic.

Llamadas generales y de emergencia entre el puesto del despachador en terminales, depósito y el "**PRTL**".

Conexión de llamada inmediata al de levantar el teléfono, haciendo una llamada general o de emergencia, y el tipo de llamada debe mostrarse en la estación de despacho del "**PRTL**".

La estación de despacho del "**PRTL**" debe tener funciones de comunicación entre las distintas estaciones de trabajo y debe apoyar la convocatoria de reuniones multipartitas.

Capacidad de operación cuando ocurre una falla del equipo en el "**PRTL**".

Grabación de llamadas en tiempo real.

Función centralizada de mantenimiento y gestión, que monitorea, analiza y emite alarmas sobre el estado operativo de los equipos del subsistema de telefonía en el "**PRTL**", estaciones terminales y depósito en tiempo real, y muestra y registra alarmas por fallas.

Debe satisfacer las necesidades de varios departamentos de STE para llamadas de trabajo, proporcionando el servicio de comunicación de voz y datos para el personal de operación, administración y mantenimiento, y debe acondicionar la interfaz con la red telefónica pública y local.

Recuperación y arranque del sistema

En caso de un corte de energía en el Subsistema de telefonía, los datos operativos y de respaldo se guardan en el disco duro local. El sistema puede realizar copias de seguridad de manera automática y/o programada. También puede seleccionar

Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

automáticamente el último modo de inicio normal para la protección contra el autoarranque. Una vez restablecido el suministro eléctrico, el proceso se ejecutará automáticamente sin intervención del administrador.

Función de datos: Tiene la capacidad de identificar servicios que no son de voz (datos de usuario, fax) y puede garantizar que la conexión de dichos servicios no se interrumpa ni sea interrumpida por otras llamadas.

Filtrado de llamadas salientes (función de lista blanca y negra), función de autenticación de llamadas, función de código de área múltiple (puede admitir la visualización de diferentes códigos de área cuando se muestra el número que llama y tiene atributos de servicio relativamente independientes para usuarios en diferentes códigos de área), función de cambio automático entre el equipo principal y de respaldo.

Posibilidad de conectar con operadores de red telefónica local y pública para las llamadas tradicionales.

Función de número especial. Además de apoyar los servicios telefónicos tradicionales, las llamadas de servicio especial 911 se transfieren automáticamente al centro 911 cuando se conecte con la red telefónica pública.

Sincronización horaria del sistema. El sistema utiliza la información del reloj proporcionada por OCC, recibe la información de tiempo estándar proporcionada por el sistema de reloj y calibra todos los dispositivos en el sistema que requieren información de tiempo para que la visualización de la hora de cada dispositivo en el sistema y el tiempo de grabación de la información almacenada sean consistentes con el sistema de reloj.

8.1.9.3. Especificaciones técnicas de los equipos principales

Servidor del sistema telefónico

- Se deberá utilizar un servidor convencional con alto rendimiento, alta velocidad y alta confiabilidad. Los productos proporcionados cuando se entrega el sistema no deben ser inferiores a la última generación vigente en el mercado.

Gateway

- La puerta de enlace proporcionada por el "Licitante" debe poder soportar no menos de 16 puertos FXS y manejar no menos de 16 llamadas simultáneas. Sus indicadores clave de desempeño incluyen, entre otros:
- Puertos Ethernet Gigabit duales: garantizan una conectividad confiable con opciones de redundancia para una alta disponibilidad.
- Cifrado TLS/SRTP: proporciona comunicaciones de voz seguras.
- Configuración automática: simplifica la implementación y la administración,



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

especialmente para entornos de gran escala.

- Compatibilidad con fax IP: compatible con la transmisión transparente T.38 y G.711, lo que garantiza una transmisión de fax confiable.
- Recuperación de fallas de energía o red: garantiza el funcionamiento continuo durante situaciones de fallas de energía o red.

Equipos terminales de intercomunicación de emergencia

- El equipo terminal de intercomunicación de emergencia proporcionado por el licitante debe cumplir con los siguientes indicadores clave de rendimiento, entre otros:
- Micrófono: Doble micrófono.
- Características de audio:
- Respuesta de frecuencia: 20 - 20KHz.
- Nivel máximo de presión sonora: 100 dB.
- Reducción de ruido: 30 dB.
- Especificaciones ambientales:
- Grado de protección: IP66 e IK10.
- Material: Panel de acero inoxidable, base de aleación de aluminio.
- Temperatura de operación: -40°C a 70°C.
- Fuente de alimentación: Compatible con PoE & PoE+ / DC 12V 2A.
- Opciones de instalación: Compatible con montaje en pared e instalación empotrada.

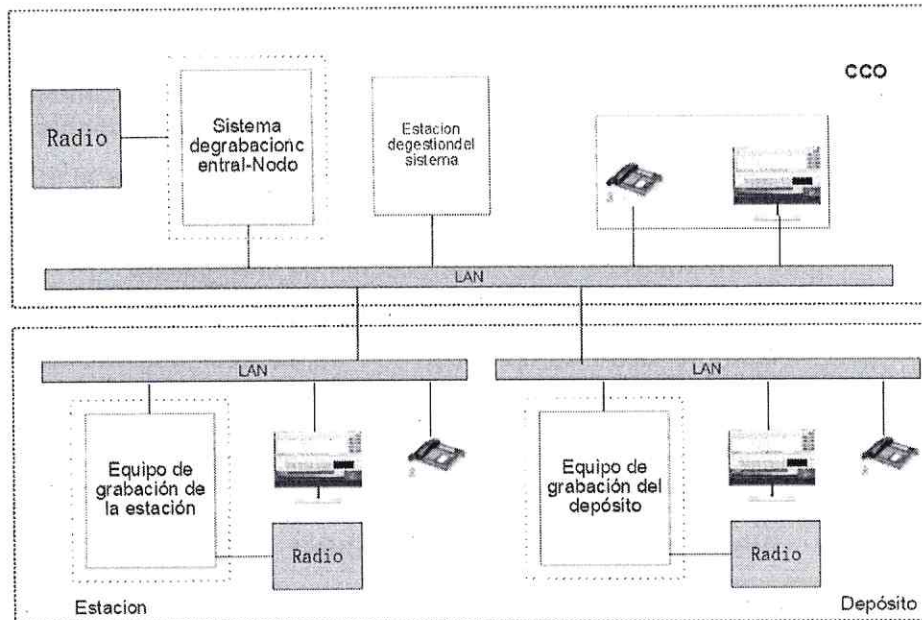
8.1.10. Subsistema de Grabación

El sistema de grabación permite la grabación, consulta y reproducción de llamadas cableadas e inalámbricas y transmisiones de voz en el "PRTL", Terminales, depósito.

Deberá contar con equipos de grabación centralizados en el "PRTL" y equipos de grabación centralizados en Terminales y Depósito Estadio Azteca. El equipo de grabación en el "PRTL" debe tener doble modo de espera activo, y el equipo de grabación en las Terminales y Depósito debe tener doble modo de espera activo, que se pueda cambiar de manera automática o manual en caso de falla.

Ilustración 6. Diagrama Estructural del Subsistema de Grabación

Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025



El equipo del "PRTL" deberá incluir, entre otros: equipo de grabación centralizado para grabar el sistema telefónico del "PRTL" y el sistema inalámbrico.

El equipo de las Terminales deberá incluir, entre otros: equipo de grabación de la estación desplegado en la estación para grabar el sistema telefónico y el sistema inalámbrico de la estación.

Requisitos para la composición del equipamiento del depósito de trenes

El equipo del Depósito deberá incluir, entre otros: Equipo de grabación de depósito implementado en el depósito para grabar el sistema telefónico y el sistema inalámbrico del depósito.

8.1.10.1. Requisitos de función del sistema

El Subsistema de Grabación realiza la grabación centralizada del sistema telefónico, incluyendo teléfonos de despacho, emergencia, marcación directa y operación, así como todas las llamadas a través del sistema de conmutación por software. El sistema de grabación se integra con el sistema inalámbrico, permitiendo la grabación de las comunicaciones del despacho inalámbrico y la consulta y descarga de grabaciones de llamadas inalámbricas.

El sistema de grabación admite grabación IP mediante el puerto espejo del switch de red, transmitiendo el flujo RTP al sistema de grabación. Debe soportar grabación continua en múltiples canales, 24/7 durante al menos 3 meses, con capacidad de respaldo y descarga.

Las funciones clave del sistema de grabación incluyen, entre otras:



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

- **Reproducción de consulta de datos:**

El sistema de grabación puede proporcionar múltiples métodos de consulta y puede consultar, reproducir y realizar copias de seguridad de forma individual o en combinación de múltiples condiciones según la fecha y hora de la llamada, el canal, el grupo de canales, el número que llama (CID), el número llamado, el nombre correspondiente al número de teléfono, la duración de la llamada y las notas de la llamada.

- **Función de grabación:**

El sistema de grabación puede grabar múltiples llamadas simultáneamente, y los archivos de grabación se almacenan en el formato universal estándar "*.wav". y puede mostrar y grabar con precisión la llamada y los números llamados. La voz grabada es clara, la calidad de la grabación es segura y confiable y no hay omisiones ni errores.

- **Método de grabación:**

Al utilizar la grabación IP, la grabación no tendrá ningún impacto en la llamada.

- **Marca de archivo de grabación:**

El nombre del archivo de grabación incluye información como el número de canal, la hora de inicio, la duración de la llamada y el número de la otra parte. Las grabaciones guardadas deben anotarse manualmente para facilitar su consulta y la copia de seguridad.

- **Reproducción de grabación:**

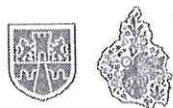
Haga clic en el botón de reproducción en la interfaz principal o haga doble clic en el archivo de grabación para reproducir el sonido. Durante la reproducción, puede usar el ratón para arrastrar el control deslizante en la barra de progreso y controlar la reproducción, pausarla, rebobinar, avanzar rápidamente, rebobinar, reproducir, seleccionar el punto de inicio para la reproducción continua, etc.

- **Almacenamiento y gestión:**

El sistema ofrece una función de gestión de almacenamiento para grabar archivos. Los archivos se almacenan por fecha para facilitar la gestión de consultas. Además, muestra en tiempo real el uso del espacio en el disco duro y el estado de funcionamiento del sistema, y permite elegir entre volcado o actualización cíclica.

- **Función de respaldo:**

El sistema de copia de seguridad de datos de grabación admite medios de almacenamiento como discos duros y CD y copias de seguridad de red, y proporciona copias de seguridad automáticas y manuales de los archivos de grabación. El sistema de grabación puede realizar copias de seguridad automáticas de las grabaciones en una ubicación designada (disco duro de respaldo/disco duro portátil USB/servidor de almacenamiento en red NAS) a la hora indicada. También puede realizar copias de



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

seguridad por lotes, consultarlas y reproducir los datos de grabación a través de Ethernet, y también puede cargar automáticamente los datos de grabación por lotes a una hora programada.

- **Función de sincronización horaria del sistema de grabación**

El sistema de grabación utiliza la información del reloj proporcionada por el OCC, recibe la información de tiempo estándar proporcionada por el sistema de reloj y calibra todos los dispositivos en el sistema que requieren información de tiempo para que la visualización de la hora de cada dispositivo en el sistema y el tiempo de grabación de la información almacenada sean consistentes con el sistema de reloj.

Descripción del sistema de grabación: El sistema de grabación proporcionado por el licitante utiliza la red del sistema de transmisión de este proyecto y puede cargar los paquetes de datos RTP (Protocolo en tiempo real) de cada terminal a través de la red IP de cada nodo para una grabación unificada.

8.1.10.2. Especificaciones técnicas de los equipos principales

- **Requisitos del servidor del Subsistema de grabación**

Se deberá utilizar un servidor convencional con alto rendimiento, alta velocidad y alta confiabilidad. Los productos proporcionados cuando se entrega el sistema no deben ser inferiores a la configuración principal del mercado.

8.1.10.3. Interacción con otros sistemas

- **Interfaz entre el sistema de grabación y el sistema inalámbrico**

La interfaz entre el sistema de grabación y el sistema inalámbrico permite la grabación de voces de llamadas de la consola de despacho inalámbrica en el sistema de grabación, y las voces de llamadas inalámbricas se pueden verificar y descargar a través del sistema de grabación.

8.1.10.4. Interfaz entre el sistema telefónico y el sistema de grabación

La interfaz entre el sistema de grabación y el sistema telefónico permite la grabación de voces de llamadas del sistema telefónico en el sistema de grabación, y las voces de llamadas inalámbricas se pueden verificar y descargar a través del sistema de grabación.

8.2. Subsistema de Comunicación Inalámbrica

8.2.1. Descripción general

El Subsistema de Comunicación Inalámbrica del "**Sistema FRCT**" estará diseñado para garantizar su aplicación en transporte ferroviario urbano, su operación deberá ser segura, eficiente y de alta capacidad. Proporciona canales de transmisión de voz y datos de un ancho de banda suficiente y adecuado para garantizar una transmisión eficiente y en tiempo real entre el material rodante y los diferentes equipos de comunicación instalados



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

a lo largo de la vía y el "PRTL".

Este Subsistema debe soportar servicios de voz troncalizados y ser capaz de transportar CCTV, PIS, control de trenes y otros servicios a bordo. Proporciona una garantía importante para una conducción segura, mejorando la eficiencia del transporte y el nivel de gestión.

Deberá integrarse por una red móvil de banda ancha basada en tecnología TD-LTE, que cumpla con los estándares técnicos 3GPP (Rel-9 y superiores) y contar con una interfaz completa de interconexión de red TD-LTE. Deberá tener funciones integrales de acceso y ser capaz de proporcionar canales de transmisión transparentes, confiables, redundantes y reconfigurables de manera flexible para sistemas de aplicaciones empresariales.

La solución propuesta de comunicación Inalámbrica debe contar con casos éxito de aplicación de proyectos integrales en México (incluidos servicios de sistemas de banda ancha y servicios de troncalización) y deberá proporcionar por lo menos un contrato reciente de no más de 3 años que soporte dichos casos.

Los recursos de frecuencia a utilizar deberán considerarse dentro de la banda de 2,3 GHz (2300-2320 MHz) definida por la especificación 3GPP, la cual se encuentra dentro de la banda TDD Banda 40 (2300-2400 MHz) definida por el estándar 3GPP.

8.2.2. Características del Subsistema de Comunicación Inalámbrica

8.2.2.1. Requisitos de carga integral

El sistema LTE propuesto debe transportar servicios de voz troncalizados y conservar la capacidad de expandirse y soportar servicios de CCTV a bordo, PIS, control de trenes y otros servicios. La confiabilidad de la red se deberá asegurar través de la configuración de red dual A/B.

8.2.2.2. Servicio de voz troncal (trunking)

Los servicios de despacho de trunking se refieren a los servicios de comunicación y gestión de llamadas de voz, video y datos necesarios para la operación, emergencia y mantenimiento de la línea. El Subsistema de Comunicación inalámbrica propuesto deberá cumplir los siguientes requisitos:

- El servicio de despacho de trunking debe soportar servicios de llamadas de voz tales como llamadas individuales, interconexión telefónica (full-dúplex), llamadas de grupo y difusión (dentro de una sola estación base o sistema).
- El servicio de despacho troncal debe soportar servicios de video llamadas individuales y grupales.
- El servicio de despacho de enlaces troncales debe soportar servicios de transmisión de mensajes cortos punto a punto (que admitan confirmación de recepción y confirmación de lectura) y servicios de transmisión de mensajes cortos punto a multipunto.
- El servicio de despacho de trunking debe soportar el despacho de servicios de



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

llamadas tales como solicitud de llamada, llamada multigrupo/multiselección (sin intercomunicación entre grupos), llamada de grupo temporal (intercomunicación entre grupos), transmisión de trenes, etc.

- Ancho de banda del servicio de voz de programación de clúster: la velocidad de transmisión de cada canal ascendente no debe ser inferior a 32 kbit/s, y la velocidad de transmisión de cada canal descendente no debe ser inferior a 32 kbit/s.

8.2.2.3. Servicio CCTV a bordo

El servicio de video vigilancia a bordo se refiere a la transmisión de imágenes de video vigilancia de la cabina del tren y de los compartimentos del tren a través de un sistema inalámbrico al "PRTL" para su monitorización centralizada.

El ancho de banda requerido para la transmisión de datos entre el material rodante y los dispositivos instalados a lo largo de la línea y los canales de video definidos en la red portadora integrada del sistema LTE, se determinarán en función de la optimización de la red del sistema y de los resultados de las pruebas en vía.

8.2.3. Composición del Subsistema de Comunicación Inalámbrica

8.2.3.1. Arquitectura

El sistema de comunicación inalámbrica propuesto, debe adoptar un diseño de redundancia de red dual A/B para mejorar la confiabilidad del sistema. Las redes A/B del sistema LTE deben ser completamente independientes y trabajar en paralelo sin afectarse entre sí. Además, el equipo de red central A/B del sistema LTE también debe configurarse por separado.

8.2.3.2. Cobertura inalámbrica

La red inalámbrica LTE para el "Sistema FRCT" debe garantizar la cobertura en la infraestructura del Tren Ligero, incluyendo el depósito, "PRTL" y las 18 estaciones a lo largo de la línea.

El equipo RRU del sistema LTE empleado, deberá ser instalado al lado de la vía, y el equipo BBU en el depósito Estadio Azteca, deberá estar configurado de acuerdo con las necesidades de cobertura reales. La RRU y la BBU están conectadas mediante cables ópticos.

8.2.3.3. Sincronización

El sistema LTE del "Sistema FRCT", debe soportar la sincronización horaria por satélite (navegación GPS) y la sincronización de red basada en el protocolo 1588v2. El "Licitante" deberá seleccionar el método de sincronización de la red LTE en función de las características técnicas de los equipos seleccionados, los requisitos de la tecnología que transporta la red y configuración del equipo de sincronización correspondiente.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

8.2.3.4. Potencia.

Para suministrar energía a la RRU, se instalará una caja de distribución en la sección según las necesidades reales. La caja de distribución debe cumplir los requisitos para uso en exteriores, tener un nivel de protección IP65, incluir una unidad de protección contra rayos, etc.

8.2.3.5. Composición del equipo

El Subsistema de Comunicación Inalámbrica propuesto deberá contar de red central, el subsistema inalámbrico eNB (BBU+RRU), el sistema de gestión de red, terminales montados en el material rodante, terminales portátiles y otros equipos.

8.2.3.6. Equipamiento del PRTL

Está compuesto por la red central A/B, el switch, el firewall y el servidor de gestión de red del sistema LTE. También incluye el servidor troncal, el servidor de despacho, la consola de despacho y el terminal fijo del sistema de despacho de voz troncal LTE.

8.2.3.7. Equipamiento en estaciones y depósito

Estará compuesto por equipos BBU de estación base de las redes A y B, equipos RRU y antenas direccionales (o cable radiante). También incluye equipos como el terminal portátil del sistema de despacho de voz.

8.2.3.8. Equipamiento a bordo (material rodante)

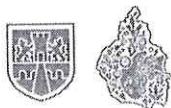
Consiste en una estación de voz LTE y una antena montada en el material rodante. El "Licitante" deberá describir en su propuesta técnica a detalle los indicadores técnicos y el número de interfaces del equipo del sistema, y proponer un plan detallado para el sistema LTE del "Sistema FRCT" basado en la experiencia de ingeniería de proyectos relevante, y proporcionar una lista detallada de configuración del equipo.

8.2.3.9. Configuración de frecuencia

El sistema de comunicación inalámbrica LTE propuesto deberá soportar recursos de frecuencia en la banda de 2,3 GHz (2300-2320 MHz) definida por la especificación 3GPP, que se encuentra dentro de la banda TDD de la banda 40 (2300-2400 MHz) definida por el estándar 3GPP.

8.2.3.10. Canal de transmisión

El "Licitante" debe proporcionar un canal de transmisión de red para el sistema LTE. El canal de interfaz entre la red central y la BBU de la red A/B del sistema LTE se proporcionará mediante una red de fibra óptica. El equipo BBU de la red A accede al Core de la red A del sistema LTE del PRTL a través del canal proporcionado por la red de fibra óptica. La BBU de la red B se conecta al Core de la red B del sistema LTE a través del canal provisto por la red óptica.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

8.2.3.11. Asignación de direcciones IP

La red LTE es una arquitectura totalmente plana basada en IP, y todos los dispositivos deben admitir los protocolos IP relevantes.

8.2.4. Principales Funciones del Subsistema de Comunicación Inalámbrica

8.2.4.1. Funciones para Servicio de Troncalización de voz

- **Función de llamada**

La función de llamada es la principal del servicio troncal. Es responsable de la comunicación entre el "PRTL" y el material rodante y también de completar la función de llamada. Deberá incluir:

- Comunicación entre el despachador "PRTL" y un tren en línea.
- Llamadas telefónicas entre conductores de trenes. (con la opción de inhibir)
- Llamadas entre el despachador "PRTL" y el personal móvil.
- Comunicación entre operadores móviles dentro del depósito.
- Llamadas entre miembros de diferentes grupos de conversación.
- Jerarquización de llamadas

- **Función de voz**

Llamada única

- Una llamada privada entre dos usuarios inalámbricos, dos consolas de despacho y entre una consola de despacho y un usuario inalámbrico.

Llamada grupal

- En caso de preagrupación, un usuario puede establecer una llamada de uno a varios con un grupo de usuarios.

Llamada grupal de difusión

- Llamadas punto a multipunto. El despachador de este departamento inicia una llamada a todos los miembros (múltiples grupos de miembros) bajo su jurisdicción. Los miembros llamados pueden incluirse automáticamente en la llamada del grupo de transmisión sin tener que cambiar de grupo manualmente. Esta llamada es una comunicación bidireccional.

Llamada de emergencia

- Una llamada de emergencia es una llamada individual o una llamada grupal realizada por un usuario inalámbrico cuando se encuentra en una emergencia. Las llamadas de emergencia tienen máxima prioridad para acceder a los recursos inalámbricos. Cuando un usuario móvil realiza una llamada de emergencia a la estación de despacho correspondiente y todos los recursos del sistema están ocupados, el sistema interrumpirá la llamada del usuario con menor autoridad y asignará inmediatamente los recursos del canal al usuario que realizó la llamada de emergencia.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

8.2.4.2. Funciones de red inalámbrica

Configuración de ancho de banda: admite una configuración flexible de ancho de banda del sistema de 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz y 20 MHz.

Configuración de intervalo de tiempo: el equipo del sistema debe admitir todas las capacidades de configuración TDD UL/DL definidas por 3GPP.

Control de interferencia de redes de co-frecuencia: el sistema admite ICIC de canales de servicio de enlace ascendente, incluidos SFR (reutilización de frecuencia suave) y FFR (reutilización de frecuencia fraccionaria).

Función de seguridad de red: El licitante deberá seleccionar y proporcionar el algoritmo de cifrado y protección de integridad para la red TD-LTE. El algoritmo seleccionado debe ser el definido por el estándar 3GPP y ser compatible con cifrado de 128 bits (o superior) en la interfaz aérea. El licitante deberá seleccionar y proporcionar los métodos de autenticación y autorización de acceso definidos por 3GPP. y respaldar la protección de integridad definida por 3GPP.

8.2.4.3. Funciones de transferencia de datos

Transmisión inalámbrica de paquetes de datos.

Enrutamiento y reenvío de paquetes de datos.

Red privada virtual (VPN).

Red de área local virtual (VLAN) y se transmiten diferentes tipos de datos a través de diferentes VLAN.

8.2.4.4. Funciones de gestión de red

El contenido de gestión del sistema de gestión de red debe incluir la gestión del sistema, la gestión de la configuración, la gestión de fallos, la gestión del rendimiento, la gestión de la topología, la gestión de la seguridad, etc. Admite capacidades de recuperación de fallas para el sistema de administración de red, incluyendo: copia de seguridad y recuperación de datos de administración de red, sincronización de datos de elementos de red, etc.

El sistema de gestión de red debe proporcionar una interfaz gráfica fácil de usar para mostrar el estado de salud y las fallas de los equipos del sistema LTE.

8.2.5. Especificaciones técnicas de los equipos principales

Los equipos que integran el Subsistema de comunicación inalámbrica deberán cumplir con el protocolo 3GPP R9 o superior y cumplir con los requisitos pertinentes para las comunicaciones de clúster de banda ancha basadas en tecnología LTE.

El proveedor de la solución propuesta para la integración del Subsistema de Comunicación inalámbrica para el "Sistema FRCT" deberá contar con un equipo de entrega local en México y poder brindar soporte técnico directo en español las 24 horas, los 7 días de la semana.

El Subsistema de Comunicación Inalámbrica deberá cumplir con los estándares y



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

requisitos técnicos pertinentes de 3GPP en aspectos como estructura de red, servicios, interfaz aérea, sincronización, seguridad, numeración e interfaces. Sus indicadores de rendimiento clave incluyen, entre otros:

- Soporte para ancho de banda variable, incluyendo: 5MHz, 10MHz, 15MHz y 20MHz.
- Rendimiento en el borde de la cobertura: en el caso del 95 % de tiempo y ubicación, se cumplen los requisitos de transporte de servicios uplink y downlink.

8.2.5.1. Equipos de red central

El equipo de la red central del sistema de comunicación inalámbrica LTE deberá estar compuesto por la red central, switches CE, switches centrales, firewall y servidores de gestión de red, entre otros dispositivos.

8.2.5.1.1. Red central:

El equipo de la red central debe gestionar la autenticación y cifrado de la red inalámbrica, detección de intrusiones, asignación de ID de usuario (UE ID), seguridad, conmutación, control de itinerancia y gestión de servicios de datos de usuario.

Todas las tarjetas del equipo de la red central (incluyendo, entre otras, tarjetas de control principal, gestión de servicios e interfaces) deben contar con redundancia 1+1.

8.2.5.1.2. Conmutador CE:

El conmutador CE propuesto deberá cumplir con las siguientes características mínimas:

- Capacidad de conmutación: ≥ 2.16 Tbps. velocidad de reenvío lineal: ≥ 954 Mpps.
- Al menos 48 puertos ópticos Ethernet 10GE y 6 puertos ópticos Ethernet 40/100GE, con un 50% de puertos adicionales disponibles.
- Soporte para M-LAG y conmutación rápida de acceso dual activo en 50ms.
- Soporte para detección de reenvío bidireccional (BFD) basada en hardware, con un intervalo de transmisión mínimo inferior a 3.3ms.
- Soporte para el protocolo 1588v2 para la sincronización de reloj.

8.2.5.1.3. Conmutador central:

Los indicadores del equipo deben cumplir o superar los siguientes parámetros:

- Capacidad de conmutación: ≥ 2.16 Tbps. velocidad de reenvío lineal: ≥ 490 Mpps.
- Al menos 48 puertos ópticos Ethernet 10GE y 6 puertos ópticos Ethernet 40/100GE, con un 50% de puertos adicionales disponibles.
- Fuente de alimentación: intercambiable en caliente y configuración redundante 1+1.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

- Admite hasta 9 switches apilables.
- Soporte para el protocolo 1588v2 para la sincronización de reloj.

8.2.5.1.4. Firewall:

Los indicadores del equipo deben cumplir o superar los siguientes parámetros:

- El equipo debe estar basado en una plataforma de seguridad estable, con NGFW, IPS de próxima generación, protección contra malware y filtrado de URL, ofreciendo firewall, visibilidad de aplicaciones y funciones IPS en un solo dispositivo.
- Para garantizar la alta confiabilidad del servicio, el firewall debe asegurar que la pérdida de conexión entre los dispositivos principales y de respaldo no provoque interrupciones del servicio.
- Para mejorar la confiabilidad del equipo, debe contar con 1.5 TB de almacenamiento local y doble fuente de alimentación CA con soporte para intercambio en caliente.
- Debe proporcionar un rendimiento de hasta 35Gbps. El rendimiento de control de aplicaciones, IPS y antivirus (tráfico mixto) debe ser de al menos 7Gbps.

8.2.5.1.5. Servidores de gestión de red / de despacho/ de clúster:

Se deberá considerar la utilización de servidores de alto rendimiento, alta velocidad y alta confiabilidad. Los productos suministrados deben ser al menos de configuración estándar del mercado.

8.2.5.2. Equipos Radio Base

Los componentes clave del equipo de la estación base adoptan una configuración redundante activa-en espera, y las antenas GPS se configuran según sea necesario.

8.2.5.2.1. Unidad de procesamiento de banda base BBU

- Admite protocolo de clúster 3GPP.
- Modo de sincronización: GPS y 1588v2.
- Interfaz de operación y mantenimiento: La BBU debe tener un mecanismo de alarma completo en su interior.
- Valores MTBF, MTTR: Cumplir con los requisitos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema.

8.2.5.2.2. Unidad de procesamiento de radiofrecuencia (RRU)

Los indicadores de interferencia como la emisión espuria fuera de banda de los equipos inalámbricos utilizados en este sistema deben cumplir estrictamente con las normas internacionales. Las especificaciones de RF de la RRU deben cumplir con los requisitos de la especificación 3GPP TS 36.104. Otros requisitos para RRU:

- Frecuencia: 2300MHz-2320MHz.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

- Ancho de banda del espectro admitido: 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz.
- Ubicación de la falla: Debe haber un mecanismo de alarma completo dentro de la RRU para que la información de la alarma pueda transmitirse a la BBU.
- Nivel de protección: IP65, resistente al polvo y al agua, etc.
- Protección contra rayos: RRU tiene una función de protección contra rayos incorporada y puede soportar rayos con una corriente superior a 20 kA.
- MTBF, MTTR el valor cumple con los requisitos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema.

8.2.5.2.3. Equipo de conmutación de acceso

Los equipos de conmutación de acceso deberán cumplir con las siguientes características mínimas:

- Capacidad de conmutación: ≥ 2.16 Tbps. Velocidad de reenvío lineal: ≥ 490 Mpps.
- Un mínimo de 48 puertos ópticos Ethernet 10GE y 6 puertos ópticos Ethernet 40/100GE. El número de puertos cumple con los requisitos de este proyecto y se reserva un margen del 50 %.
- Fuente de alimentación: intercambiable en caliente y configuración redundante 1+1.
- Admite hasta 9 switches apilables.
- Es necesario admitir el protocolo 1588v2 para cumplir con los requisitos de sincronización del reloj.

8.2.5.3. Equipamiento Embarcado

El "Licitante" será responsable de la correcta instalación los equipos a bordo en los Trenes y de salvaguardar la integridad de los equipos existentes. El Subsistema de Comunicación Inalámbrica a bordo consta de una antena, una estación montada en el Tren para el subsistema de control, y una estación montada para la comunicación troncal. Los requisitos básicos para los equipos a bordo en el material rodante son los siguientes:

- Entorno operativo: Puede funcionar de manera confiable en el entorno de operación de tránsito ferroviario durante mucho tiempo.
- Fuente de alimentación del equipo: adaptarse al modo de suministro de energía del vehículo.

8.2.5.4. Equipos Portátiles

Los equipos portátiles deberán cumplir con las siguientes características mínimas:

- Capacidad de la batería: 3500 mAh
- Tamaño de la pantalla: 2 pulgadas
- Cámara frontal: 8 mega píxeles
- Cámara trasera: 13 mega píxeles



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

- Almacenamiento incorporado: 2 GB de RAM + 16 GB de memoria flash
- Almacenamiento externo: MicroSD, soporte máximo 32G
- Posicionamiento: GPS (Sistema de posicionamiento global)
- Wi-Fi: Compatible con 2.4G y 5G, IEEE802.11b/g/n
- Bluetooth: 4.0 EDR
- Banda de frecuencia de trabajo: 1,8 GHz: 1785 MHz-1805 MHz / 2,3 GHz: 2300 MHz-2400 MHz (B40)
- Ancho de banda de trabajo: 1.8G/2.3G: 5MHz/10MHz/15MHz/20MHz.
- Nivel de capacidad de la UE: Categoría 6
- Interfaz externa: Interfaz HDMI (Interfaz multimedia de alta definición), admite audio, USB, OTG, puerto serie, etc.
- Tipo de tarjeta SIM: Admite tarjeta SIM rígida (ranura dual, tarjeta MicroSIM)
- Admite cifrado de hardware de extremo a extremo
- Admite almacenamiento con tarjeta TF, hasta 32G.
- Tiempo en espera > 72 horas

8.2.5.5. Servidor de gestión de red / Servidor de despacho / Servidor de clúster

Todos los tipos de servidores deberán utilizar servidores convencionales con alto rendimiento, alta velocidad y alta confiabilidad. Los productos proporcionados cuando se entrega el "Sistema FRCT" no deben ser inferiores a la última generación vigente en el mercado.

8.2.5.6. Antena o cables radiante

- Rendimiento de Antena Direccional o cables radiante: Rango de frecuencia: 2300-2320 MHz.
- Rendimiento de Antena omnidireccional: Rango de frecuencia: 2300-2320 MHz
- El "Licitante" deberá prever las protecciones necesarias para evitar daños ocasionados por descargas atmosféricas.

8.2.6. Interacción con otros sistemas

8.2.6.1. Sistema de reloj

El sistema de reloj proporciona señales horarias estándar para el sistema de comunicación integrado inalámbrico material rodante y dispositivos instalados a lo largo de la línea, y el equipo del sistema de reloj en el PRTL proporciona interfaces para las redes A y B del sistema de comunicación integrado inalámbrico en el material rodante y dispositivos instalados a lo largo de la línea respectivamente.

8.2.6.2. Sistema de transmisión

El sistema de transmisión de comunicaciones proporciona un canal de transmisión para el sistema de comunicación inalámbrico integrado en el material rodante y



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

dispositivos instalados a lo largo de la línea, que se utiliza para transmitir la información comercial y de control desde la BBU a la red central. Los equipos de transmisión en cada estación, depósito y PRTL disponen de puertos ópticos o eléctricos, respectivamente.

8.2.6.3. Interfaz con la gestión de red centralizada

En el "PRTL", la terminal de administración de red de este sistema transmite la información de alarma de falla del equipo de este sistema, al sistema de administración de red centralizado a través de la interfaz Ethernet.

8.2.6.4. Interfaz con el sistema de alimentación y puesta a tierra

En el "PRTL", depósito y estaciones, se utilizan equipos de energía para alimentar el sistema de comunicación LTE inalámbrica entre material rodante y dispositivos instalados a lo largo de la línea, que debe cumplir con los requisitos mexicanos locales y tener en cuenta los requisitos de conexión a tierra de la energía.

8.2.6.5. Interfaz con el sistema de señalización

El Subsistema de Comunicación Inalámbrico deberá estar interconectado con el sistema de señalización.

8.3. Sistema de video vigilancia

8.3.1. Descripción general del sistema

El sistema de video vigilancia de este proyecto es un medio importante para el mantenimiento de las vías y para garantizar la seguridad, proporcionando información visual sobre el funcionamiento del tren, la prevención del desgaste, el rescate de emergencia, etc. Evacuación de pasajeros y seguridad social para despachadores de centros de control, asistentes de estación, conductores, etc. El sistema de video vigilancia de este proyecto incluye equipamiento básico del sistema de video vigilancia para 18 estaciones, 1 depósito y 1 centro de control.

8.3.2. Composición del sistema

El sistema de video vigilancia proporcionado por el licitante debe estar compuesto por cámaras, almacenamiento de video, control central, dispositivos de visualización y transmisión de señales de video, entre otros. En este proyecto, se establecerá una plataforma de gestión de video en el centro de control y se instalarán dispositivos de almacenamiento de video en las estaciones y en el depósito de trenes. La información de video de las estaciones y el depósito de trenes se transmitirá al centro de control a través de los canales proporcionados por el sistema de transmisión.

8.3.2.1.1. Composición del equipo en el centro de control

Incluye principalmente: switch de acceso, equipo de almacenamiento central de video, equipo de análisis de video, plataforma de gestión de video vigilancia, terminal de video vigilancia y cámaras.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

8.3.2.1.2. Composición del equipo en el depósito de trenes

Incluye principalmente: switch de acceso, equipo de almacenamiento de video, terminal de video vigilancia y cámaras.

8.3.2.1.3. Composición del equipo en las estaciones

Incluye principalmente: switch de acceso, equipo de almacenamiento de video y cámaras

8.3.2.1.4. Composición de equipamiento en trenes

Deberá considerar que los trenes de la marca CRRC ya cuentan con equipo de videovigilancia embarcado, por lo que deberá llevar a cabo la integración de los mismos al sistema propuesto.

8.3.3. Requisitos funcionales del sistema de video vigilancia

8.3.3.1. El sistema de gestión de video proporcionado por el licitante debe cumplir al menos con las siguientes funciones:

Gestión completa de video en tiempo real y grabaciones.

Gestión de equipos distribuidos en diferentes ubicaciones.

Enlace y manejo de alarmas.

Configuración de tareas de seguridad.

8.3.3.2. El sistema de almacenamiento de video proporcionado por el licitante debe cumplir al menos con las siguientes funciones:

Transmisión de datos de alarmas: metadatos inteligentes y datos de alarmas.

Almacenamiento de grabaciones de video con una tasa de bits de al menos 2 Mbps, 24 horas al día, con un período de retención mínimo de seis meses.

8.3.3.3. Las cámaras proporcionadas por el licitante deben cumplir al menos con las siguientes funciones:

Transmisión de video en tiempo real a la plataforma superior.

Cambio inteligente de funciones, incluyendo análisis de comportamiento (intrusión perimetral, merodeo, etc.), detección de objetivos y detección de personas, con captura de eventos inteligentes detectados.

8.3.4. Especificaciones técnicas de los equipos principales

Este proyecto requiere que el licitante proporcione cámaras balas infrarrojas con IA de alta resolución para su uso en plataformas, entradas y salidas, etc., que cumplan con las siguientes especificaciones técnicas:

Objetivo con zoom de 2.8 mm a 12.0 mm, F1.6.

Sensor de imagen: CMOS de 1/2.8 pulgadas con escaneo progresivo.

Rango del obturador electrónico: 1/25-1/100,000.

Balance de blancos 3D, compensación de luz de fondo y reducción de ruido.

El rango del ángulo de visión horizontal es 95° a 32°, el rango de ángulo de visión vertical es de 52° a 18°.

Admite compresión de vídeo H.264, H.265 y MJPEG.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

Tecnología SuperCoding, que reduce la velocidad binaria en un 50 %.

Admite análisis de comportamiento, análisis de flujo de multitudes, detección de objetivos, detección de personal y clasificación de objetos.

Este proyecto requiere que el licitante proporcione cámaras domos infrarrojas con IA de alta resolución para su uso en plataformas, espacio interior, etc., que cumplan con las siguientes especificaciones técnicas:

Objetivo con zoom de 2.8 mm a 12.0 mm, F1.6.

Sensor de imagen: CMOS de 1/2.8 pulgadas con escaneo progresivo.

Rango del obturador electrónico: 1/25-1/100,000.

Balance de blancos 3D, compensación de luz de fondo y reducción de ruido.

El rango del ángulo de visión horizontal es 95° a 32°, el rango de ángulo de visión vertical es de 52° a 18°.

Admite compresión de vídeo H.264, H.265 y MJPEG.

Tecnología SuperCoding, que reduce la velocidad binaria en un 50 %.

Admite análisis de comportamiento, análisis de flujo de multitudes, detección de objetivos, detección de personal y clasificación de objetos.

Este proyecto requiere que el licitante proporcione luz blanca/infrarroja de alta resolución PTZ. Las cámaras domo se utilizan en áreas como salas de mantenimiento y deben cumplir al menos las siguientes especificaciones técnicas:

Tamaño del sensor de imagen: al menos 1/2.7 pulgadas.

La resolución de la imagen admite una resolución no inferior a 2880*1520 píxeles.

Admite formatos de codificación H.265 y H.264.

Rango del obturador electrónico: 1/25-1/100,000.

Ángulo de panorámica/inclinación: 0°~360°. ángulo de inclinación: -15°~+90°.

Longitud focal máxima de la lente ≥ 175 mm, distancia focal mínima ≤ 6 mm.

Estabilizador de imagen giroscópico incorporado, admite algoritmo de estabilización de imagen giroscópica para reducir la vibración de la imagen.

Admite seguimiento automático, análisis de comportamiento, análisis de multitudes, detección de objetivos, detección humana y clasificación de objetivos.

Interfaz de entrada de audio: compatible (2 MIC internos).

Interfaz de salida de audio: compatible (1 altavoz).

Este proyecto requiere que el licitante proporcione un grabador de video en red para almacenamiento de video, que deberá cumplir al menos con las siguientes especificaciones técnicas:

Entrada de vídeo de red: 128 líneas, capacidad de acceso de 512 Mbps.

Reenvío de vídeo: 128 líneas, 512 Mbps de capacidad de reenvío (320 Mbps de rendimiento simultaneidad inteligente activada).

Descarga de reproducción: 2 sockets, capacidad de reproducción de 160 Mbps.

Cantidad de discos: 16 unidades.

Compensación de video para garantizar la integridad de los datos de video.

Bloqueo de grabación para evitar que se sobrescriban las grabaciones importantes dentro del tiempo especificado.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

Caja fuerte de datos para realizar copias de seguridad dobles de los datos críticos del sistema.

El sistema operativo Linux integrado garantiza un funcionamiento estable del sistema 7 * 24 horas del día y evita ataques de hackers y virus.

Múltiples funciones de análisis inteligentes.

Este proyecto requiere que el licitante proporcione un VMS (sistema de gestión de video), que deberá cumplir al menos con las siguientes especificaciones técnicas:

La gestión, las aplicaciones y los servidores se combinan en un solo lugar, con hasta 10,000 canales de acceso de video;

Admite vista previa en tiempo real, reproducción instantánea, gestión del árbol de recursos del dispositivo, captura manual, grabación local del cliente, protección de la privacidad, control en la nube, reproducción de video, reproducción síncrona/asíncrona, descarga de video, etc.

Apoyar la gestión de los equipos de control visual, la gestión de la disposición, la rotación de la cámara y la gestión de la programación.

Admite captura/identificación de objetivos, alarmas de I/O, visualización de alarmas, revisión/procesamiento de alarmas.

8.3.5. Interfaz con otros sistemas

Interfaz de sistema de video vigilancia y pantalla grande La pantalla grande proporcionada por el licitante proporciona un área de visualización para el sistema de video vigilancia, y las imágenes de video CCTV se muestran en la pantalla grande a través de la interfaz con el sistema de video vigilancia.

9. Capacitación.

El "Licitante" ganador realizará el entrenamiento necesario para que el personal responsable de la operación y mantenimiento del "Sistema FRCT", por parte del STE, adquiera los conocimientos y habilidades necesarios y cuente con suficientes habilidades prácticas y operativas cuando el "Sistema FRCT" entre en operación comercial, garantizando que el personal tendrá las capacidades y el conocimiento necesario para operar y utilizar el sistema de manera segura, eficaz y competente.

La capacitación deberá estar dirigida a personal de regulación operativa, dependiente de la Gerencia de Movilidad del STECDMX, quienes serán los encargados de la operación del sistema, así como a personal de las Gerencias de Mantenimiento de Tren Ligero y Tecnologías de la Información y Comunicaciones, quienes serán los responsables de llevar a cabo el mantenimiento del mismo en sus diferentes ramos y de acuerdo con el ámbito de su competencia. En ese sentido, la capacitación deberá garantizar la correcta transferencia de conocimientos para lograr una operación eficiente en todas las funcionalidades del sistema, así como realizar pruebas de mantenimiento, gestionar fallas y mantener de manera segura, competente y efectiva los subsistemas que componen al "Sistema FRCT".

Para efecto de lo anterior, el "Licitante" ganador designará a una persona responsable de organizar, planificar e implementar la capacitación durante la ejecución del proyecto. Deberá

Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

proporcionar un plan de capacitación detallado, medidas de verificación del desarrollo de habilidades y materiales de capacitación que cumplan con los requisitos establecidos por el **STECDMX** previo al inicio de cada etapa de capacitación, y designará instructores de capacitación específicos para cada etapa.

El plan de capacitación y los materiales proporcionados deberán ser aprobados por el **STECDMX**, los cuales serán proporcionado en el idioma de origen y en su caso su traducción al español.

9.1. Programa de capacitación

La capacitación se divide en capacitación local en la fábrica y capacitación en el sitio, las cuales se dividirán en los siguientes rubros:

- **Capacitación operativa:** entrenar a los operadores de manera que puedan manejar el sistema con competencia en diversas situaciones como las normales y de emergencia.
- **Capacitación de mantenimiento:** entrenar al personal de mantenimiento para que adquieran los conocimientos y técnicas necesarias para mantener los diversos equipos del sistema, así como para analizar y resolver fallos.

El "**Licitante**" ganador deberá proporcionar un Programa de Capacitación detallado después de la firma del contrato. El Programa de Capacitación deberá incluir la ubicación de la capacitación, el cronograma de cursos, las horas de cada materia, los instructores y las instalaciones de simulación

El "**Licitante**" ganador deberá proporcionar los materiales de capacitación aprobados para cada capacitación, al menos 30 días antes de que comience cada sesión, en medio electrónico en formato PDF con reconocimiento de caracteres (OCR) e impreso en las cantidades necesarias para capacitar a la totalidad del personal encargado de la operación y el mantenimiento.

Los cursos de capacitación deberán realizarse de forma teórica y práctica, debiendo considerar la realización de cursos piloto para el personal de STECDMX, quien emitirá los comentarios correspondientes respecto al alcance de los cursos de capacitación y material didáctico para tal efecto. Los cursos subsecuentes deberán ser perfeccionados de acuerdo con los comentarios de los cursos piloto.

Cada curso de capacitación deberá incluir el tiempo y el contenido necesario, para su aprobación por parte del STECDMX.

Se deberá prever la impartición de cursos de capacitación por sistema, subsistema y la operación del "**Sistema FRCT**" como conjunto.

9.2. Capacitación on-site.

La capacitación en el sitio para operadores y personal de mantenimiento deberá completarse



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

previo a la formalización del Acta de Recepción Provisional. Esta capacitación deberá incluir el entrenamiento en operaciones de control en lugares como centros de control, salas de control de estaciones, etc. Esta capacitación deberá incluir procedimientos operativos normales y cómo manejar situaciones de emergencia.

El contratante es responsable de las instalaciones de capacitación en el sitio, incluyendo edificios, aulas, muebles, proyectores, etc.

El oferente debe dar recomendaciones detalladas para cada capacitación en el sitio, y debe detallar el plan y la programación recomendados después de la firma del contrato

9.3. Evaluaciones al personal operativo y de mantenimiento.

Para asegurar que los participantes progresen durante el proceso de capacitación y cumplan con los requisitos del Programa de Capacitación, se deberán realizar exámenes con regularidad, y al finalizar la capacitación se deberá realizar un examen para evaluar si los participantes están calificados para llevar a cabo la operación y/o mantenimiento del "Sistema FRCT".

Será responsabilidad del "Licitante" ganador realizar las evaluaciones correspondientes incluyendo los costos asociados a la expedición de la constancia o documento que acredite que el personal del STECDMX es apto para realizar la operación o mantenimiento del "Sistema FRCT".

Una vez concluida, el "Licitante" ganador entregará a las Gerencias de Transportación y de Mantenimiento de Tren Ligero, las constancias o documentos que acrediten que el personal del STECDMX es apto para realizar las actividades de operación o mantenimiento respectivamente de, del "Sistema FRCT".

9.4. Costos de capacitación.

El "Licitante" ganador será responsable de cubrir los costos requeridos para llevar a cabo la capacitación on-site y en fábrica, incluyendo los siguientes:

- Transporte foráneo, alojamiento y alimentos para cursos de capacitación en la República Mexicana
- Visa y otros trámites para los participantes que viajan al extranjero.
- Transporte internacional, alojamiento, alimentos y traslados fuera de México para los participantes.
- Uso de herramientas, instrumentos, medidores y simuladores requeridos durante la capacitación
- Uso de Instalaciones, instructores y material didáctico.
- Costos de servicio.



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

10. Garantía.

Se refiere al período durante el cual se brindarán los servicios de garantía de calidad después de la instalación de todos los equipos que integran el "**Sistema FRCT**", la realización de pruebas y la formalización del **Acta de Recepción Provisional**, documento que establecerá la fecha de inicio de operación comercial y el inicio del periodo de garantía.

10.1. Garantía Normal.

El "**Licitante**" ganador se obliga a cubrir la garantía de la totalidad de los equipos, dispositivos, componentes, partes y materiales para la implementación del "**Sistema FRCT**" y de los subsistemas que lo componen, mismos que deberán estar libres de defectos de diseño, fabricación, materiales y mano de obra, motivo por el cual, el "**Licitante**" ganador deberá proporcionar al **STECDMX** un plazo de Garantía Normal por buena fabricación, integración y correcto funcionamiento de **dos años** bajo condiciones normales de operación, a partir de la fecha de formalización del Acta de Recepción Provisional.

Durante el plazo de Garantía Normal, el "**Licitante**" ganador deberá mantener en sitio una residencia de personal técnico especializado para realizar el seguimiento del desempeño operativo del "**Sistema FRCT**", así como coordinar la ejecución de las actividades del programa de mantenimiento preventivo y la supervisión de dichos trabajos durante la transferencia de responsabilidad de dichas actividades hacia el personal del **STECDMX**, previo a la recepción definitiva del Sistema. En caso de ser necesario se deberán diseñar e implementar modificaciones para garantizar que los servicios especificados se completen bajo condiciones normales de mantenimiento.

Durante el período de Garantía Normal, el "**Licitante**" ganador deberá brindar el asesoramiento que el personal del Puesto de Regulación de Tren Ligero del **STECDMX** requiera para la gestión de la operación de los trenes. De igual forma, deberá mantener al personal en constante capacitación con el objetivo de lograr una adecuada transferencia de conocimientos.

10.2. Garantía de Fabricantes.

El "**Licitante**" ganador se obliga a proporcionar al **STECDMX** las mismas garantías que sus proveedores le extiendan por los sistemas, equipos, dispositivos, componentes y partes, cuando el plazo de garantía proporcionado por el fabricante del equipo sea mayor al plazo de Garantía Normal.

10.3. Garantía de Software.

El "**Licitante**" ganador proporcionará una garantía de calidad de por vida para el software durante todo el ciclo de vida del sistema de señales y comunicación, además, deberá aplicar el mantenimiento preventivo que considere necesario para mantener el sistema en las condiciones adecuadas durante el periodo de garantía normal. En caso de que se produzca



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

una falla debido a un defecto del software, el **"Licitante"** ganador será responsable del diagnóstico y la resolución sin costo para el STECDMX.

10.4. Trabajos y Obligaciones durante el Período de Garantía

Durante el plazo de Garantía Normal del **"Sistema FRCT"**, el **"Licitante"** ganador será el único responsable ante el STE de asegurar el funcionamiento normal del sistema y garantizar la seguridad de la operación. El **"Licitante"** ganador reemplazará y mantendrá los equipos que componen el **"Sistema FRCT"** que fallen durante el plazo de Garantía Normal, bajo las siguientes consideraciones:

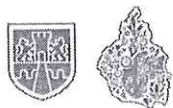
- Asegurar la detección y eliminación de fallas;
- Asegurar el reemplazo de piezas defectuosas que no cumplan con los parámetros de operación establecidos en la presente Especificación Técnica o en los documentos de diseño;
- Ante cualquier anomalía, el **"Licitante"** ganador deberá realizar el análisis y emitir el diagnóstico correspondiente, debiendo proponer soluciones temporales y permanentes, y ejecutar correcciones para cumplir con las características de diseño y funcionales del **"Sistema FRCT"**;
- Identificar, desensamblar, reemplazar y reinstalar partes, dispositivos y/o equipos defectuosos, previa autorización por parte del personal de STECDMX; con la finalidad de a su vez proporcionar la capacitación necesaria al personal del STE
- Proporcionar materiales para enriquecer la base de datos para monitorear el estado del sistema de señales y comunicación en todo momento
- Deberá contar con un stock mínimo de refacciones de hardware para garantizar que, en caso de alguna falla técnica, pueda realizar el servicio de mantenimiento correctivo con la mayor brevedad posible.

10.5. Residencia Técnica para Atención de Garantías

El **"Licitante"** ganador deberá destinar tanto el personal técnico especializado, como el equipamiento necesario para realizar la recepción, acondicionamiento, pruebas, puesta en operación, y atención a garantías durante el Plazo de Garantía Normal del **"Sistema FRCT"**.

Una vez concluido el plazo de Garantía Normal, el personal deberá brindar asistencia técnica y atención a las solicitudes de garantía de fabricantes hasta la conclusión de las mismas y en su caso las ampliaciones de garantía que se hubieren originado.

El **"STECDMX"** podrá proporcionar al **"Licitante"** ganador los espacios que dispondrá para establecer la residencia técnica, siendo responsabilidad del **"Licitante"** ganador llevar a cabo el equipamiento necesario para el desempeño de sus actividades, así como realizar su mantenimiento y conservación y en su caso las adecuaciones que considere pertinentes para



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

garantizar su seguridad.

El uso de los espacios que el **STECDMX** ponga a disposición del "**Licitante**" ganador, estará sujeto a los reglamentos internos del **STECDMX**. El "**Licitante**" ganador se obliga en todo momento a cumplir con la normatividad y disposiciones de seguridad vigentes, mismas que serán proporcionadas por el **STECDMX**. El uso y permanencia del personal técnico del "**Licitante**" ganador en las instalaciones del **STECDMX** durante la implementación, pruebas, puesta a punto, puesta en operación, atención a soporte técnico, mantenimiento y plazos de garantías, no causará bajo ninguna circunstancia relación laboral de ninguna índole con el **STECDMX**.

El "**Licitante**" ganador será responsable por cualquier incidente, ocasionado por su personal, que repercuta en daños al personal o a las instalaciones del **STECDMX**, así como de terceras personas, por lo que asumirá los costos de reparación de los daños a instalaciones y atención a personas que deriven de dicho incidente.

Al término de los plazos de Garantía Normal y Garantía de Fabricantes, el "**Licitante**" ganador, en coordinación con el **STECDMX**, deberán elaborar el "**Acta de Recepción Definitiva**", la cual establecerá la conclusión de dichos periodos y la aceptación del "**Sistema FRCT**" a entera satisfacción del **STECDMX**, indicando que no se cuenta con reclamaciones de garantía pendientes de atención o plazos de garantía ampliados motivados por alguna reclamación aun en atención.

11. Documentación Técnica y de Control de Gestión

11.1. Requisitos generales

El término "Documentos" empleado en la presente Especificación Técnica se refiere a los documentos de gestión, documentos técnicos y planos elaborados a partir del diseño particular del "**Sistema FRCT**".

El "**Licitante**" ganador será responsable de que todos los Documentos sean elaborados por personal técnico especializado, mediante el empleo de formatos normalizados.

Los Documentos deberán entregarse en medio impreso y magnético, en formato PDF con reconocimiento óptico de caracteres (OCR), en versiones tanto en inglés como en español.

Los planos, explicaciones y diseños presentados formalmente deben estar firmados por parte de el "**Licitante**" ganador, certificando que los materiales presentados son para este proyecto y son precisos.

El "**Licitante**" ganador será responsable de la exactitud, integridad y puntualidad de todos los documentos proporcionados.

11.2. Documentos de gestión

11.2.1. Programa de Trabajo

Durante la etapa de revisión de diseño, el "**Licitante**" ganador deberá presentar un cronograma de actividades en formato gráfico, para su aprobación por parte del **STECDMX**. Se deberán establecer sesiones de trabajo en las que se revisará de manera



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

detallada el diseño de los subsistemas a efecto de obtener la aprobación por parte del **STECDMX**, para dar inicio a la adquisición y fabricación de equipos por parte del "**Licitante**" ganador.

El Programa de Trabajo deberá incluir un cronograma de actividades, el cual deberá mostrar las fechas de inicio y conclusión de las etapas del proyecto, incluyendo por lo menos las siguientes, sin ser limitativo:

- Revisión y aprobación de diseño;
- Fabricación y suministro;
- Pruebas de fábrica y embarque;
- Recepción de equipos, componentes y materiales;
- Implementación del Sistema;
- Pruebas en sitio y puesta a punto del sistema;
- Inicio de Operación Comercial.

El cronograma podrá sufrir modificaciones respecto a la programación de etapas, sin embargo, deberá estar en concordancia con las fechas establecidas para la ejecución del proyecto de conformidad con el Plan de Trabajo presentado en su propuesta técnica y de conformidad con los plazos para ejecución establecidos en las Bases de Licitación.

Una vez aprobado, podrán realizarse modificaciones, previa solicitud por parte del "**Licitante**" ganador y la autorización correspondiente por parte del **STECDMX**. Bajo ninguna circunstancia las modificaciones alterarán las fechas contractuales para la ejecución de los trabajos.

11.2.2. Informe de actividades

El "**Licitante**" ganador deberá presentar un informe mensual de avance. Este informe debe reflejar el estado actual del trabajo y compararlo con el progreso esperado en el plan de control, indicando el porcentaje de finalización de cada parte del plan de control.

11.2.3. Documentación de informes de pruebas

Después de completar las pruebas de aceptación en cada fase del sistema, el "**Licitante**" ganador deberá entregar un informe de pruebas. El informe de pruebas debe incluir todos los registros de pruebas, los cuales deben ser lo suficientemente detallados para que el **STECDMX** pueda evaluar su autenticidad y precisión.

El formato del informe debe facilitar la determinación de si el equipo probado cumple con las especificaciones aplicables. El informe debe listar con anticipación todas las inspecciones y pruebas necesarias en el orden correcto. Todos los resultados de las pruebas deben registrarse en el informe y ser firmados por los ingenieros de pruebas del "**Licitante**" ganador y los representantes del **STECDMX**, cuando hubieren participado en la ejecución de las pruebas.

11.3. Documentos técnicos.

El "**Licitante**" ganador entregará al **STECDMX** todos los Documentos técnicos necesarios para la operación y mantenimiento del "**Sistema FRCT**", así como de los componentes, dispositivos equipos y subsistemas que lo conforman, ya sean de elaboración propia o



Ciudad de México, a 25 de agosto de 2025

proveniente de terceros, por lo que será responsabilidad del "**Licitante**" ganador contar con las autorizaciones correspondientes para transmitir dicha información al **STECDMX**.

Los Documentos deberán ser elaborados y entregados por el "**Licitante**" ganador previo a la formalización del Acta de Recepción Provisional del "**Sistema FRCT**", observando el debido cumplimiento de lo establecido en el numeral 11.3.1 de la presente Especificación Técnica.

11.3.1. Elaboración de Documentos.

Los Documentos deberán presentarse en idioma español y las características serán expresadas en unidades del Sistema Métrico Internacional. Para el caso de que existan Documentos en idioma diferente al español, podrá presentarse en el idioma del país de origen del sistema o componente, acompañada de una traducción simple al español.

Los Documentos deberán desarrollarse empleando formatos estandarizados, que contendrán la razón social del fabricante, fecha de elaboración, identificación del documento (nomenclatura o número de plano) y número de versión del documento (revisión).

El "**Licitante**" ganador deberá entregar en medio magnético y tres ejemplares impresos de todos los Documentos para revisión por parte del **STECDMX**, quien analizará y emitirá los comentarios correspondientes para corrección por parte del "**Licitante**" ganador, o en su caso, otorgará el visto bueno para la emisión de los Documentos definitivos.

El "**Licitante**" ganador deberá entregar al **STECDMX** los Documentos definitivos, una vez atendidas las observaciones y en su caso las actualizaciones que hubieren derivado de alguna modificación a los sistemas durante el periodo de garantía normal.

Los Documentos definitivos se entregarán en tres tantos impresos y en medio magnético previo a la firma del **Acta de Recepción Provisional**.

Toda la documentación técnica deberá entregarse impresa y en medio magnético, en formato PDF con **reconocimiento óptico de caracteres OCR** adicionalmente, los planos y/o diagramas deberán entregarse en formato DWG o equivalente y en PDF.

11.3.2. Diseño y planos.

El "**Licitante**" ganador deberá presentar los documentos de diseño, diagramas y planos detallados y los planos, que incluyan, pero no se limiten a:

- Diagramas de configuración del equipo del sistema;
- Planos de construcción de equipos interiores y en las vías;
- Planos de instalación de equipos interiores y en las vías;
- Diagramas de cableado detallados;
- Especificaciones detalladas de todos los equipos y materiales (excepto aquellos que sigan estándares y regulaciones existentes)

Los planos deberán ser proporcionados al **STECDMX**, quien estará autorizado a utilizarlos exclusivamente para la finalización, operación, mantenimiento, ajuste y reparación del "**Sistema FRCT**".

11.3.3. Manuales de instalación

El "**Licitante**" ganador deberá proporcionar manuales de instalación de la totalidad de